



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS - FATECS
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Jose Aliézio Amaro Severo

**Sistema microcontrolado para funcionamento
alternado e automático de motobombas de
recalque**

Brasília
Junho, 2012

Jose Aliézio Amaro Severo

**Sistema microcontrolado para funcionamento
alternado e automático de motobombas de
recalque**

Trabalho apresentado ao
Centro Universitário de Brasília (UniCEUB)
como pré-requisito para a obtenção de Certificado de
Conclusão do Curso de
Engenharia da Computação

Orientadora: Prof^a Maria Marony Sousa Farias, Msc

Brasília

Junho, 2012

JOSE ALIÉZIO AMARO SEVERO

**SISTEMA MICROCONTROLADO PARA FUNCIONAMENTO ALTERNADO E
AUTOMÁTICO DE MOTOBOMBAS DE RECALQUE**

Trabalho apresentado ao Centro Universitário de
Brasília (UniCEUB) como pré-requisito para a
obtenção de Certificado de Conclusão de Curso
de Engenharia de Computação.

Orientadora: Prof^ª. Maria Marony Sousa Farias

Este Trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro de Computação,
e aprovado em sua forma final pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas -
FATECS.

Prof. Abiézer Amarília Fernandes
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof^ª. Maria Marony Sousa Farias, MsC.
Orientadora

Prof. Miguel Arcanjo Bacellar Goes Telles Júnior, D.Sc.
UniCEUB

Prof. Antônio Barbosa Júnior, Especialista em Engenharia de Software
UniCEUB

Prof. João Marcos Souza Costa, Especialista em Matemática
UniCEUB

Dedico este projeto primeiramente à Deus por ter me concedido a graça de poder estudar e ter a capacidade de aprender, ler, pensar e agir. A minha mãe Alice (in memoriam), que inspirou-me o desejo de saber e ao meu pai Antonio que viveram com simplicidade, dignidade e foram a fonte dos bons exemplos de vida, valores éticos e morais necessários para um perfeito relacionamento social, principalmente o respeito às pessoas.

AGRADECIMENTOS

A professora Maria Marony Sousa Farias, pela paciência e pelos seus ensinamentos que muito contribuíram para a execução deste trabalho.

Aos meus amigos Carlos Lopes da Rocha, Ivo Filho, José Carlos SantaCruz, Raphael Matos e Renata Ladislau que muito ajudaram na conclusão deste trabalho.

A minha esposa Lúcia, pela tolerância e paciência durante este período de realização do curso e aos meus filhos Weverton, Cibelli e minha nora Silvia, que sempre me incentivaram, ajudaram e serviram de inspiração.

A todos professores do curso de engenharia da computação do UniCEUB que embora não estejam citados nominalmente neste trabalho foram muito importantes nesta fase de construção e aprendizagem de minha vida.

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
RESUMO.....	X
ABSTRACT.....	XI
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	14
1.1 MOTIVAÇÃO.....	14
1.2 OBJETIVO GERAL.....	16
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA.....	17
1.5 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA.....	17
1.6 RESULTADOS ESPERADOS.....	18
CAPÍTULO 2 – APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	19
2.1 SISTEMAS ELETROMECAÂNICOS	19
2.2 AUTOMAÇÃO COM APLICAÇÃO DE MICROCONTROLADOR	19
CAPÍTULO 3 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	20
3.1 AUTOMAÇÃO.....	20
3.2 NÍVEL 0 - EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTOS DE CAMPO	20
3.2.1 RESERVATÓRIO INFERIOR	20
3.2.2 RESERVATÓRIO SUPERIOR.....	21
3.2.3 SENSORES DE NÍVEIS	21
3.2.4 MOTORES ELÉTRICOS DE DC.....	22
3.2.5 MOTOBOMBAS DE RECALQUE	23
3.3 NÍVEL 1 – PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	25
3.3.1 MICROCONTROLADOR ARDUINO	25
3.4 NÍVEL 2 - PLATAFORMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE.....	26
3.4.1 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DO ARDUINO - IDE	26
3.4.2 DESCRIÇÃO DO PROGRAMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE	27
3.5 HARDWARE	36
3.5.1 TRANSFORMADORES DE COMANDO	36
3.5.2 PONTE RETIFICADORA DE ONDA COMPLETA.....	38
3.5.3 REGULADOR DE TENSÃO	40
3.5.4 CIRCUITO INTEGRADO ENCAPSULADO OPTOACOPADOR.....	40
CAPÍTULO 4 – DESENVOLVIMENTO.....	42
4.1 CONCEITOS INICIAIS	44

4.1.1 RESERVATÓRIOS DE ÁGUA	44
4.1.2 SISTEMA DE CONTROLE	45
4.1.3 SISTEMA DE SUPERVISÃO.....	47
4.1.4 MICROCONTROLADOR ARDUINO	49
4.2 TELAS DE SUPERVISÃO	49
4.2.1 SUPERVISÃO EM MODO OPERACIONAL.....	51
4.3 DIAGRAMA FUNCIONAL	55
4.3.1 HARDWARE DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO.....	57
4.3.2 HARDWARE DA INTERFACE	60
4.3.3 HARDWARE DO MICROCONTROLADOR ARDUINO	64
4.4 FIRMWARE DO SISTEMA	65
4.4.1 LINGUAGEM UTILIZADA	65
4.4.2 SERVIDOR LOCAL – XAMPP.....	65
4.5 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE CAMPO	68
4.5.1 VAZÃO NO MODO AUTOMÁTICO	69
4.5.2 VAZÃO NO MODO MANUAL LOCAL	69
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO	70
5.1 FUTUROS PROJETOS	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
APÊNDICE I.....	74

Lista de Figuras

Figura 1.1.1 – Fotografia do protótipo	16
Figura 3.2.1 – Torneira bóia	21
Figura 3.2.2 – Sensor de Nível.....	22
Figura 3.2.3 – Motobomba d'água de DC	23
Figura 3.2.4 – Conjunto típico de um sistema de recalque	24
Figura 3.3.1 – Vista do microcontrolador Arduino	26
Figura 3.4.1 – IDE do microcontrolador Arduino	27
Figura 3.4.2 – Fluxograma Geral do Sistema.....	28
Figura 3.4.3 – Fluxograma função LOOP.....	29
Figura 3.4.4 – Fluxograma da função supervisão	30
Figura 3.4.5 – Fluxograma da função automático	31
Figura 3.4.6 – Fluxograma da função manual.....	32
Figura 3.4.7 – Fluxograma da função manual – remoto (parte 1)	33
Figura 3.4.8 – Fluxograma da função manual – remoto (parte 2)	34
Figura 3.4.9 – Função Checa tempo em operação	35
Figura 3.5.1 – Simbologia de um transformador	37
Figura 3.5.2 – Curva característica diodo em condução e bloqueio.....	39
Figura 3.5.3 – Circuito retificador de onda completa.....	40
Figura 3.5.4 – Onda típica, tensão (V_o) de saída.....	40
Figura 3.5.5 – Regulador de tensão	40
Figura 3.5.6 – Diagrama esquemático do optoacoplador.....	41
Figura 4.1.1 – Reservatórios superior e inferior	45
Figura 4.1.2 – Sensores de nível - reservatório superior.....	46
Figura 4.1.3 – Tela da Supervisão	48
Figura 4.2.1 – Comutação automático – MB2	52
Figura 4.2.2 – Comutação automático – MB1	53
Figura 4.2.3 – Comutação automático - remoto MB1	54
Figura 4.3.1 – Simbologia dos Componentes.....	56
Figura 4.3.2 – Fonte de alimentação principal.....	57
Figura 4.3.3 – Diagrama elétrico da fonte de alimentação	59

Figura 4.3.4 – Diagrama Funcional	62
Figura 4.3.5 – Diagrama de contatos	63
Figura 4.4.1 – Visão Geral do Sistema Supervisório	67

Lista de Tabelas

Tabela 4.2.1 - Tabela de caracteres ASCII.	49
Tabela 4.2.2 - Frase recebida pela interface do supervisor.....	50
Tabela 4.2.3 - Descrição dos itens da frase enviada à interface de supervisão.....	50
Tabela 4.3.1 - Componentes da fonte de alimentação.....	58
Tabela 4.3.3 - Características técnicas do microcontrolador Arduino	64
Tabela 4.5.1 - Modo automático – medição de vazão.....	69
Tabela 4.5.2 - Modo Manual Local – medição de vazão	69

Lista de Símbolos

- A** – Ampére, unidade de medida de intensidade da corrente elétrica
- AC** – Alternating Current
- AVR** – Advanced Virtual RISC, Arquitetura Virtual Avançada RISC
- bps** – bit per second, unidade de transmissão de dados de bits por segundo
- CA** – Corrente alternada
- CC** – Corrente contínua
- CPU** – Central Processing Unit
- PC** – Personal Computer
- DC** – Direct Current
- F** – Farad, unidade de capacitância
- GaAs** – Gallium Arsênico, elementos químicos usados no optoacoplador
- GND** – Ground, terra, aterramento, referencial de terra
- HEX** – Hexadecimal
- I/O** – Input / Output, entrada / saída
- ICSP** – In-Circuit Serial Programming
- IDE** – Integrated Development Environment, Ambiente de Desenvolvimento
- SCR** – Silicon Controlled Rectifier – Retificador Controlado de Silício
- USB** – Universal Serial Bus
- V** – Volts, unidade de tensão elétrica
- VAC** – Volt Alternating Current
- W** – Watt, unidade de potencia elétrica
- μ** – micro, um fator de 10^{-6} , unidade de medida de milionésimo
- Ω** – Ohm, unidade de medida de resistência

RESUMO

Neste projeto é proposto a automação, o supervisionamento e o controle da alternância de motobombas de recalque em um sistema de abastecimento de água para consumo humano, que pode ser utilizado em qualquer tipo de edificação que possua um sistema de abastecimento com reservatórios inferiores e superiores, tais como: edifícios de condomínios residenciais e comerciais, privados ou públicos e unidades de fabricação que exijam água em seus processos. A automação de motobombas tem como objetivo reduzir os custos operacionais e de manutenção dos motores e das bombas, pois a alternância permite um desgaste linear das partes móveis dos motores de indução e bombas, facilitando a execução da manutenção preventiva, conforme manual de manutenção programada dos fabricantes dos motores e bombas de recalque. A arquitetura do projeto é formada por uma placa de alimentação de 220Vca/12Vcc que alimenta uma placa de interface, com saídas para as motobombas de recalque e portas de interface com o microcontrolador Arduino, dispositivo responsável pelo automatismo.

Palavras-Chave: microcontrolador arduino; motobombas de recalque; alternância de motobombas; automação.

ABSTRACT

The project proposes the automation, supervision and control of the alternation of pumps for pumping in a system of water supply for human consumption, which can be used in any type of building that has a supply system with upper and lower reservoirs, such as residential buildings and commercial, private or public, and manufacturing facilities that demands water in their processes. The automation seeks the reduction of operating costs and maintenance of engines and pumps, as continuous switchings allows a linear wear of moving parts of induction motors and pumps, facilitating the implementation of preventive maintenance as scheduled on maintenance manual. The architecture of the design is formed by a plate feed 220Vca/12VDC which feeds an interface board connected with the pumps and pumping and the ports of a microcontroller Arduino, responsible for the automatic operation.

Keywords: Arduino microcontroller; pumps for pumping; alternation of pumps; automation

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Cada vez mais procura-se “facilitar” as atividades no dia-a-dia das pessoas e encontrar soluções para a obtenção de melhores resultados. O avanço tecnológico tem gerado um grande empenho e interesse no desenvolvimento de sistemas para automação de serviços, ou seja, há uma busca por parte de empresas e fornecedores de serviços, por soluções “práticas”, automatizadas e com um custo acessível para um melhor desempenho de suas tarefas.

A interoperabilidade dos serviços fez surgir a busca pela melhoria da logística funcional em diversas áreas de automação, como por exemplo, os processos industriais. É notório que as edificações residenciais, particularmente os prédios de condomínios tem um processo de abastecimento de água para consumo e higiene, via sistema de motobombas de recalque e que as empresas construtoras, buscam instalar nessas edificações, sistema eletromecânicos que exigem controle de alternância de forma manual, o que requer a supervisão e monitoramento local de forma contínua realizada pelo homem, sendo que essa dependência da ação humana caracteriza um ponto frágil do processo quanto ao perfeito funcionamento do sistema, uma vez que a probabilidade de falha devido a dependência desta ação é muito elevada, gerando conseqüentemente desconforto aos usuários da edificação quanto ao abastecimento regular de água, e gerando uma gestão ineficiente e ineficaz dos administradores dos prédios. Na figura 1.1.1, apresentamos o protótipo deste projeto.

1.1 MOTIVAÇÃO

Os sistemas de bombeamento de fluídos, particularmente água potável em edificações de condomínios residenciais são realizados com motobombas de recalque e cujos os quadros de comandos locais do sistema de controle e supervisão são projetados e montados para operação no modo eletromecânico, fazendo com que as partidas e paradas das bombas ocorra somente por uma única bóia flutuante instalada nos reservatórios de água nos níveis superiores. Neste tipo

de arranjo a intervenção do homem ocorre somente em caso de falhas e quase sempre de forma tardia, ou seja, quando constata-se a falta de água na edificação.

Este projeto visa implementar uma alternância das bombas de recalque, automatizando o processo de partidas e paradas, com a utilização de um microcontrolador, dispensando a interferência do homem e direcionando suas atividades para a supervisão com vistas a antecipar a ocorrência de uma falha que possa comprometer o abastecimento de água potável em edificações. A alternância das bombas de recalque permite uma gestão eficiente e eficaz na manutenção dos equipamentos, pois havendo a alternância as mesmas comprovam suas disponibilidades. É oportuno lembrar que um sistema mecânico, tem em sua arquitetura equipamentos como bombas e motores, e por consequência a existência de eixo lubrificante o que exige funcionamento de forma alternado, uma vez que a inoperância por longos períodos poderá travar os eixos mecânicos, impedindo as partidas das bombas levando-as falhas por sobrecorrente ou aquecimento. Nos sistemas eletromecânicos esta alternância é realizada pela intervenção do homem, comprometendo assim o bom funcionamento.

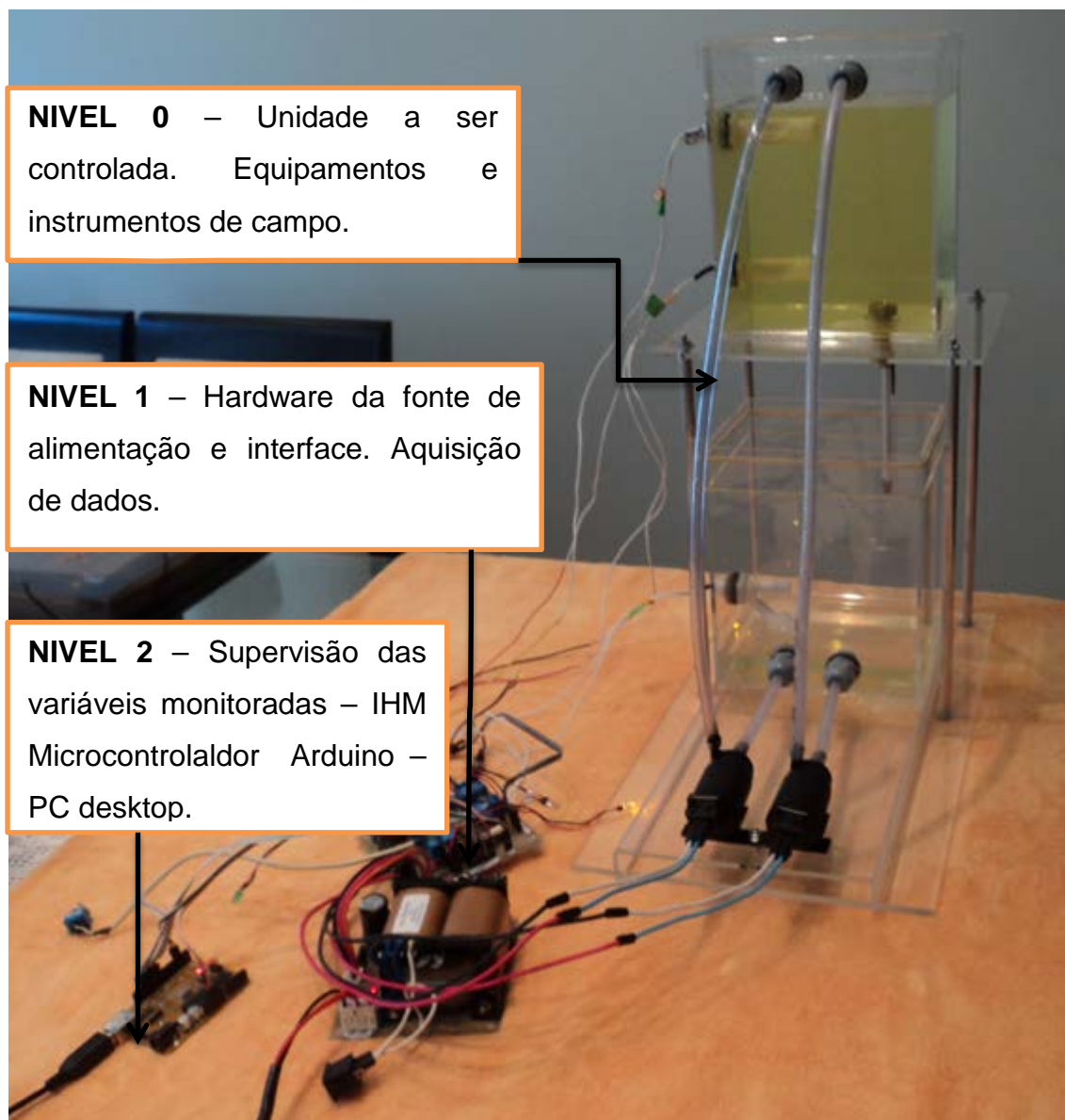


Figura 1.1.1 – Fotografia do protótipo

(Fonte: Autor)

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do projeto é implementar um sistema de automação de motobombas de recalque, sendo que toda lógica dar-se-a com aplicação do microcontrolador arduino, visando a supervisão, controle remoto e automático. A comunicação entre o PC com a interface arduino e o circuito de controle é feita pelo modo serial, tipo USB.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

O objetivo específico é apresentar o protótipo de uma sistema de motobombas de recalque, composto de dois reservatórios de água montados sobre plataformas de acrílicos, com desníveis entre o reservatório inferior e superior de 30 cm de altura. Na plataforma inferior estão instaladas duas motobombas de recalque com alimentação elétrica em 12 Vcc e conectadas ao circuito hidráulico de recalque e os reservatórios inferior (reservatório de acumulação da água) e reservatório superior (reservatório de distribuição). Com aplicação do microcontrolador em conjunto com a placa de interface, que recebe os sinais via abertura ou fechamento dos contatos dos sensores de níveis instalados no reservatório superior e inferior, ocorre a partida, parada e alternância das motobombas de recalque. A condição inicial de funcionamento do sistema dar-se-a pela posição da chave manual – automática. No comando automático as motobombas partem e alternam-se no tempo definido pelo usuário, enquanto que no comando manual (local ou remoto) o usuário seleciona a motobomba, que deseja colocar em operação acionando o botão manual local ou remoto e cuja parada dar-se-a pelos sensores de níveis NBI ou NMS ou pela atuação do operador.

1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Este projeto segue uma linha de pesquisa bibliográfica baseada em consultas a materiais publicados em livros, periódicos e sites da internet. Com base nestas pesquisas o projeto tem finalidade aplicada, tendo com isso aplicação prática e experimental de seu objeto de estudo. [SANTOS, 2000]

1.5 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

Esta monografia foi dividida em quatro capítulos:

No Capítulo 1, é apresentada a proposta do projeto com os objetivos e motivação para o desenvolvimento.

No capítulo 2, é apresentado o problema dos sistemas de motobombas de recalque.

No Capítulo 3, é apresentado o referencial teórico com as definições de cada tecnologia utilizada no trabalho e suas respectivas aplicações ao longo do projeto.

No Capítulo 4, é apresentado o desenvolvimento do projeto com um todo, descrevendo a implementação do software em seus módulos e do hardware integrado. É o capítulo que mostra o funcionamento do sistema e sua integração com o microcontrolador e interface de comunicação.

No Capítulo 5, é apresentada a conclusão do projeto e sugestões para futuras evoluções do mesmo.

1.6 RESULTADOS ESPERADOS

As motobombas de recalque funcionarão de forma automática, alternando o seu funcionamento em intervalo de tempo mínimo de 5 segundos (default do sistema), com as condições de partida e parada em conformidade com o status dos sensores de níveis.

Na unidade de supervisão, realizada pela interface gráfica entre o microcontrolador arduino e o PC, via porta serial tipo USB realiza-se o gerenciamento das motobombas em operação, níveis de reservatórios e tempo de alternância.

No comando manual, as bombas funcionarão com a interferência do operador, que poderá ocorrer próximo ao local onde as bombas e o painel de controle estão instalados ou pelo painel da unidade de supervisão local remoto, faz-se a mesma operação de controle.

CAPÍTULO 2 – APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

2.1 SISTEMAS ELETROMECAÂNICOS

Os atuais sistemas de motobombas de recalque funcionam com aplicação das lógicas de partida e parada, com uso de relés eletromecânicos e sensores de níveis tipo bóia flutuante de mercúrio instaladas no reservatório de nível superior e conectadas diretamente no circuito de alimentação elétrica das motobombas. Nesse modelo a alternância das bombas é realizada somente de forma manual, portanto dependente da ação e da capacidade de observação do operador do sistema. As bóias de mercúrio representam um sério risco a saúde da comunidade que está sendo abastecida por este sistema, pois a perda de sua estanqueidade poderá contaminar o líquido com mercúrio, que é um metal líquido, altamente cancerígeno, portanto prejudicial à saúde dos seres vivos e ao meio ambiente.

2.2 AUTOMAÇÃO COM APLICAÇÃO DE MICROCONTROLADOR

A automação do sistema permitirá que as motobombas de recalque entrem em operação de forma alternada, permitindo assim manter o controle sobre o perfeito funcionamento do sistema, pois com a alternância tem-se a garantia de que sempre haverá uma bomba em condições de operação, uma vez que elas são excitadas diariamente. Não há redução da força de trabalho, mas o aperfeiçoamento do sistema de gerenciamento no abastecimento de água.

CAPÍTULO 3 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 AUTOMAÇÃO

Segundo o professor João Mamede Filho (2002) certa ocasião em que esteve presente a um seminário sobre automação industrial, um palestrante iniciou sua apresentação dizendo: “No futuro as fábricas só terão dois seres vivos: um homem e um cão de guarda.” Como era de se esperar, alguém da plateia indagou ao palestrante: “Para que serve o homem?”. A resposta veio logo em seguida: “Para cuidar do cão”. Essa introdução visa ressaltar a importância que a automação tem nos segmentos industriais e comerciais.

Automação (do inglês *Automation*) é um sistema automático de controle pelos quais os mecanismos verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e introduzindo correções, sem a necessidade da interferência do homem. [HOLANDA, Aurélio Buarque de]

Hoje em dia está presente em diferentes níveis de atividades do homem, desde a medicina até a astronomia, ampliando a capacidade de interação com a natureza e os processos.

A automação presente neste projeto permite que as motobombas de recalque realizem alternância de funcionamento sem a intervenção do homem, bem como apresenta informações para eventuais ocorrências de falhas de operação, tais como falta de água no reservatório inferior ou superior e bomba com defeito.

3.2 NÍVEL 0 - EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTOS DE CAMPO

3.2.1 Reservatório Inferior

É a parte da edificação que recebe a água da rede externa, e é normalmente instalado nos níveis inferiores dos prédios.

Para evitar o transbordamento no nível alto do reservatório inferior ocorre o fechamento mecânico das torneiras bóias de d'água do sistema hidráulico, conforme figura 3.2.1 – Torneira bóia.



Figura 3.2.1 – Torneira bóia

(Fonte: site Esteves Metais)

3.2.2 Reservatório Superior

É o reservatório secundário de acumulação, que distribui a água para as unidades e está instalado na parte mais alta da edificação, normalmente na cobertura.

Nos sistemas de bombeamento de recalque, com comando e controle eletromecânico são instaladas as bóias flutuantes que tem a função de comando no controle geral das motobombas de recalque de água e cuja o fechamento dos contatos ocorre pela movimentação do mercúrio que está encapsulado no interior das bóias.

3.2.3 Sensores de Níveis

Os sensores de níveis são utilizados nos mais diversos processos de automação, para diferentes funções como sinalização, tanto sonora quanto visual em níveis pré-determinados, como também, nos processos que requeiram grande precisão.

Podem ser instalados em pequenos espaços, devido ao seu tamanho reduzido e facilidade na instalação. São fabricados sob medida conforme as especificações exigidas no projeto, levando-se em consideração as compatibilidades do ambiente de trabalho, agressividade química e térmicas dos fluidos ou líquidos de processo.

Este princípio de funcionamento e a alta qualidade presente nos materiais dos sensores, garantem aos mesmos um produto de extrema confiabilidade. A seguir na figura 3.2.2, apresentamos o modelo do sensor de nível adotado neste trabalho.



Figura 3.2.2 – Sensor de Nível

(Fonte: Nivetec)

3.2.4 Motores Elétricos de DC

Os motores elétricos são responsáveis pelo funcionamento das bombas de recalque. No protótipo deste trabalho foi utilizado motores de corrente contínua e as bombas que estão encapsuladas no mesmo módulo. Um motor é uma máquina capaz de transformar energia elétrica em energia mecânica, utilizando o princípio da ação entre os campos magnéticos. Na figura 3.2.3 temos a motobomba elétrica d'água de um veículo Volkswagen, modelo GOL utilizada no trabalho.



Figura 3.2.3 – Motobomba d'água de DC

(Fonte: Virtual Plásticos)

3.2.5 Motobombas de Recalque

Em sistemas hidráulicos se o transporte de fluidos for feito em sentido descendente, aproveita-se a energia potencial do líquido, ou seja o transporte é feito por gravidade. Se o sentido for ascendente, há necessidade de se fornecer energia ao líquido – isso é feito pela bomba, através do sistema de recalque.

Sistema de recalque é o conjunto formado pelas tubulações, bombas, motores e acessórios necessários para transportar uma certa vazão de líquido de um reservatório na cota inferior para outro reservatório de cota superior.

Um sistema de recalque é composto, normalmente, por três partes, figura 3.2.4 – Conjunto típico de um sistema de recalque:

1. **Tubulação de Sucção:** é a tubulação que liga o reservatório inferior à bomba. Inclui acessórios tais como: válvula de pé, crivo, registros, curvas, reduções etc...
2. **Tubulações de Recalque:** é a canalização que liga a bomba ao reservatório superior. Inclui acessórios como: registros, válvulas de retenção, curvas, etc...

3. Conjunto de motobombas: é o coração do sistema, que transforma energia elétrica em mecânica e realiza o deslocamento do líquido.

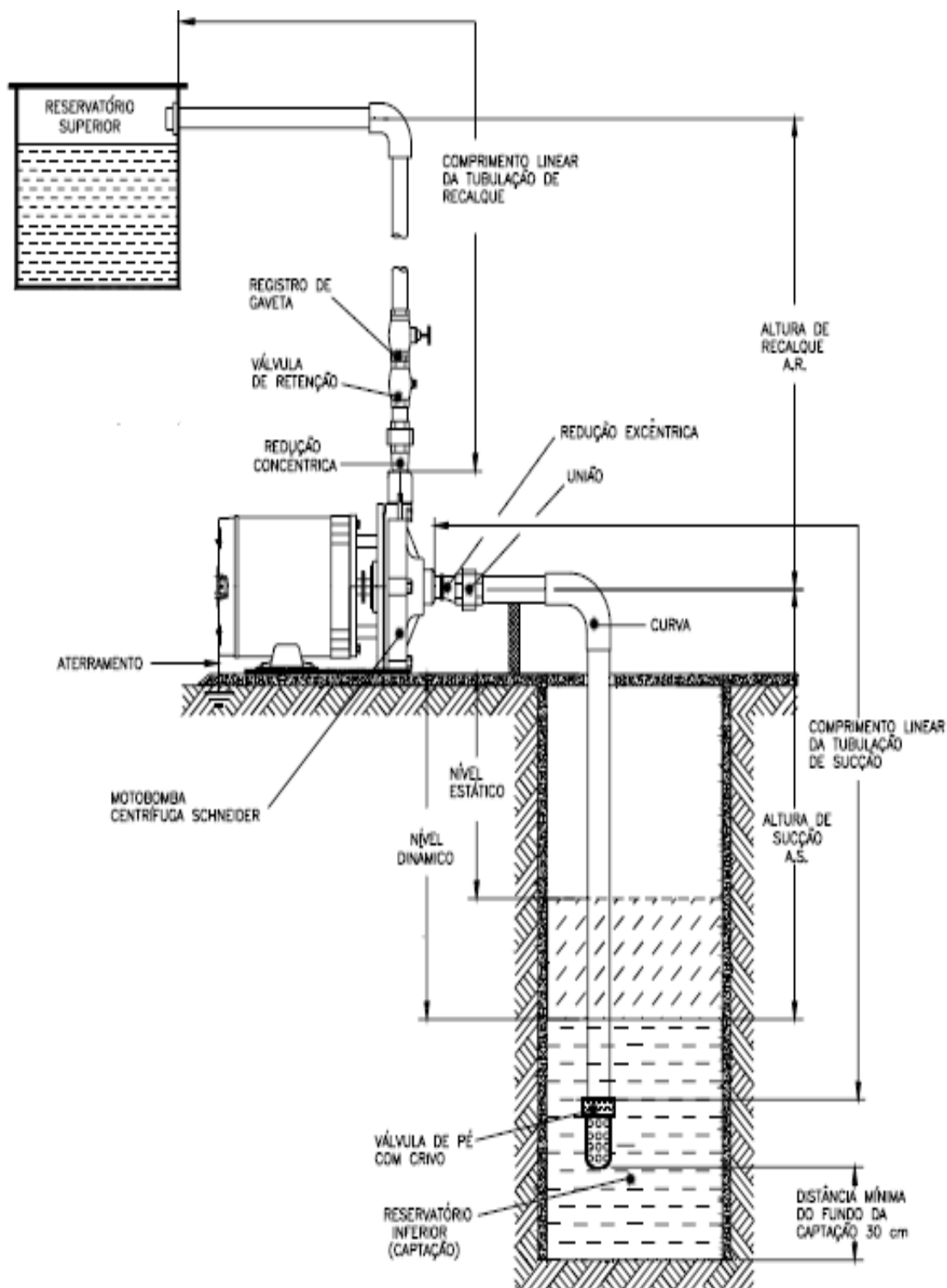


Figura 3.2.4 – Conjunto típico de um sistema de recalque

(Fonte: Schneider Motobombas)

3.3 NIVEL 1 – PROCESSAMENTO DOS DADOS

As principais informações analógicas são obtidas dos sensores de níveis instalados no reservatórios de água inferior e superior e outros dados como falta de energia são obtidos quando da energização da fonte de alimentação do microcontrolador, enquanto que a falta de água nas tubulações de recalque são percebidas em função do tempo de fechamento do sensor de nível NMS do reservatório superior.

3.3.1 Microcontrolador Arduino

O microcontrolador Arduino, figura 3.3.1 é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre, projetada com um microcontrolador Atmel AVR de placa única, especialmente os ATmega8, ATmega168, ATmega328 e a ATmega1280, porém muitos outros processadores foram utilizados por clones deles. Com suporte de entrada/saída embutido, uma linguagem de programação padrão, na qual tem origem em Wiring, e é essencialmente C/C++. Pode ser usado para o desenvolvimento de objetos interativos independentes, ou ainda para ser conectado a um computador hospedeiro. Uma típica placa Arduino é composta por um controlador, algumas linhas de E/S digital e analógica, além de uma interface serial ou USB, para interligar-se ao hospedeiro, que é usado para programá-la e interagi-la em tempo real. Ela em si não possui qualquer recurso de rede, porém é comum combinar um ou mais Arduinos deste modo, usando extensões apropriadas chamadas de shields. A interface do hospedeiro é simples, podendo ser escrita em várias linguagens. A grande maioria de placas inclui um regulador linear de 5 volts e um oscilador de cristal de 20 MHz (podendo haver variantes com um ressonador cerâmico). [Wikipedia, 2012]

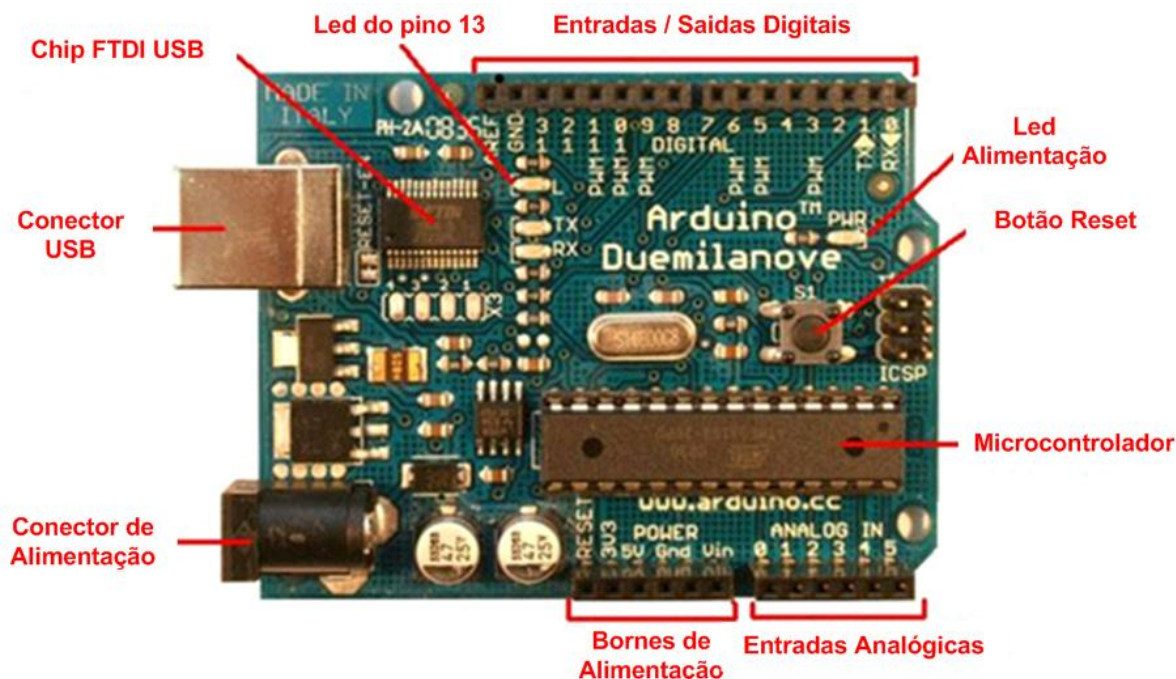


Figura 3.3.1 – Vista do microcontrolador Arduino

(Fonte: Universidade Berkeley)

3.4 NIVEL 2 - PLATAFORMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE

3.4.1 Ambiente de Desenvolvimento Integrado do Arduino - IDE

O IDE do Arduino, figura 3.4.1 é uma aplicação multiplataforma escrita em Java na qual é derivada dos projetos Processing e Wiring. É esquematizado para introduzir a programação a pessoas não familiarizadas com o desenvolvimento de software. Inclui um editor de código com recursos de realce de sintaxe, parênteses correspondentes e indentação automática, sendo capaz de compilar e carregar programas para a placa com um único clique. Com isso não há a necessidade de editar Makefiles ou rodar programas em ambientes de linha de comando.

Tendo uma biblioteca chamada "Wiring", ele possui a capacidade de programar em C/C++. Isto permite criar com facilidade muitas operações de entrada e saída, tendo que definir apenas duas funções no pedido para fazer um programa funcional:

- `setup()` – Inserida no início, na qual pode ser usada para inicializar configuração, e;

- loop() – Chamada para repetir um bloco de comandos ou esperar até que seja desligada. [Wikipedia, 2012]

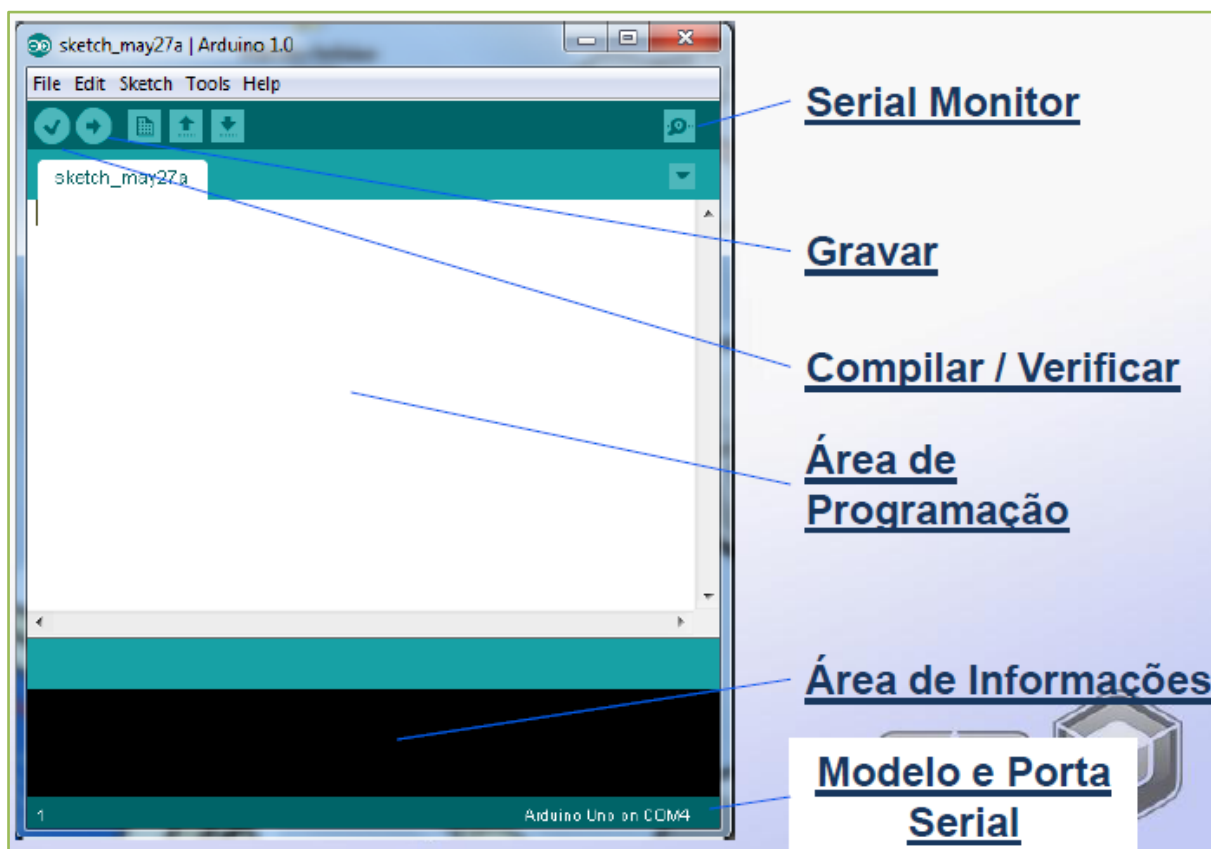


Figura 3.4.1 – IDE do microcontrolador Arduino

(Fonte: Universidade Federal de Pelotas - RS)

3.4.2 Descrição do Programa de Supervisão e Controle

O programa de supervisão e controle permite que um operador, a partir de um local remoto centralizado, execute as mudanças das variáveis de controle de tempo, permitindo a alternância entre as mobobombas 1 e 2, bem como monitorar os níveis dos reservatórios e a falha do sistema de bombeamento. O propósito do sistema de supervisão está em permitir que o usuário estenda suas habilidades de gerenciar o que está ocorrendo e fazer as mudanças necessárias para que o processo possa trabalhar conforme projetado, tudo isso em tempo real, reduzindo assim os custos operacionais, pois será possível realizar as manutenções programadas sem risco. O algoritmo do programa de supervisão e controle foi desenvolvido conforme fluxograma do sistema, figura 3.4.2 a figura 3.4.9 – Fluxogramas Geral e detalhados.

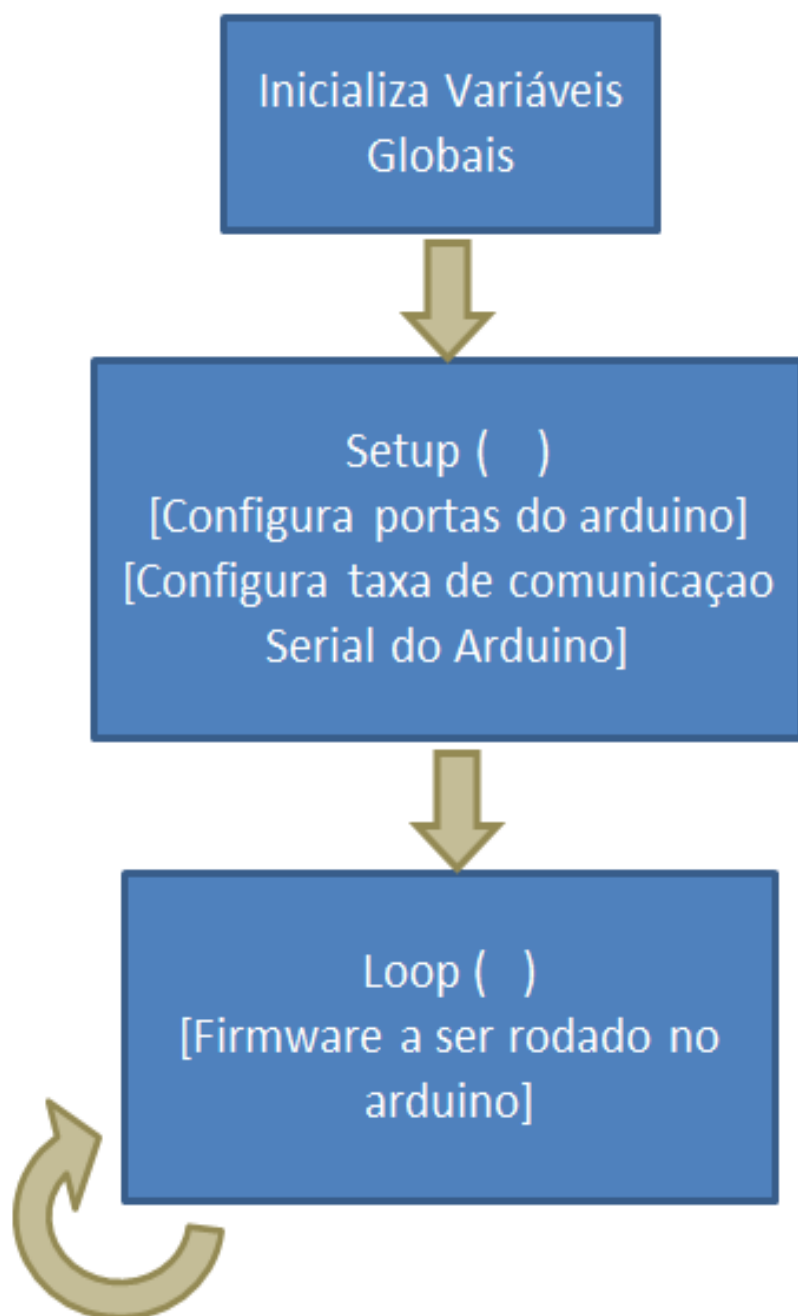


Figura 3.4.2 – Fluxograma Geral do Sistema

(Fonte: Autor)

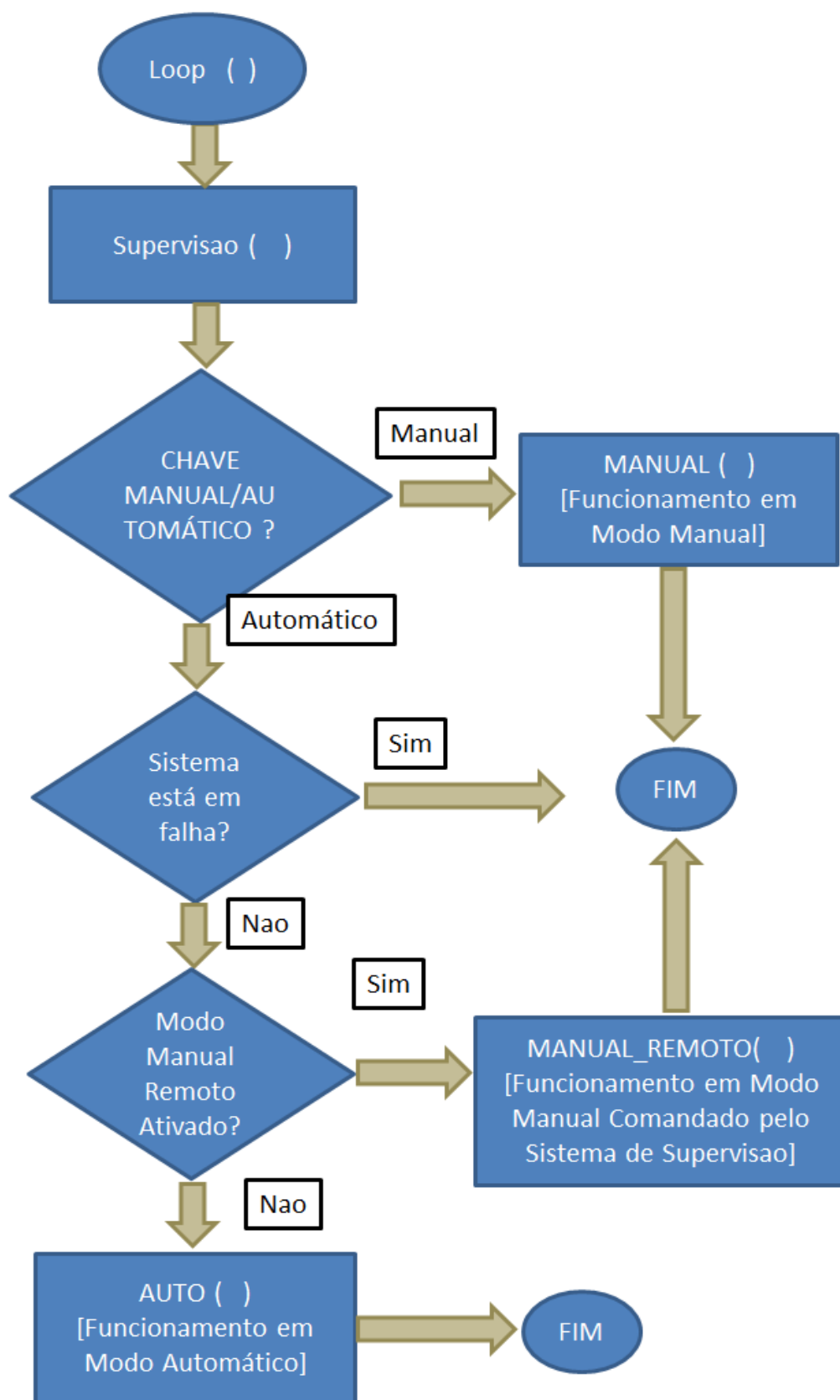


Figura 3.4.3 – Fluxograma função LOOP

(Fonte: Autor)

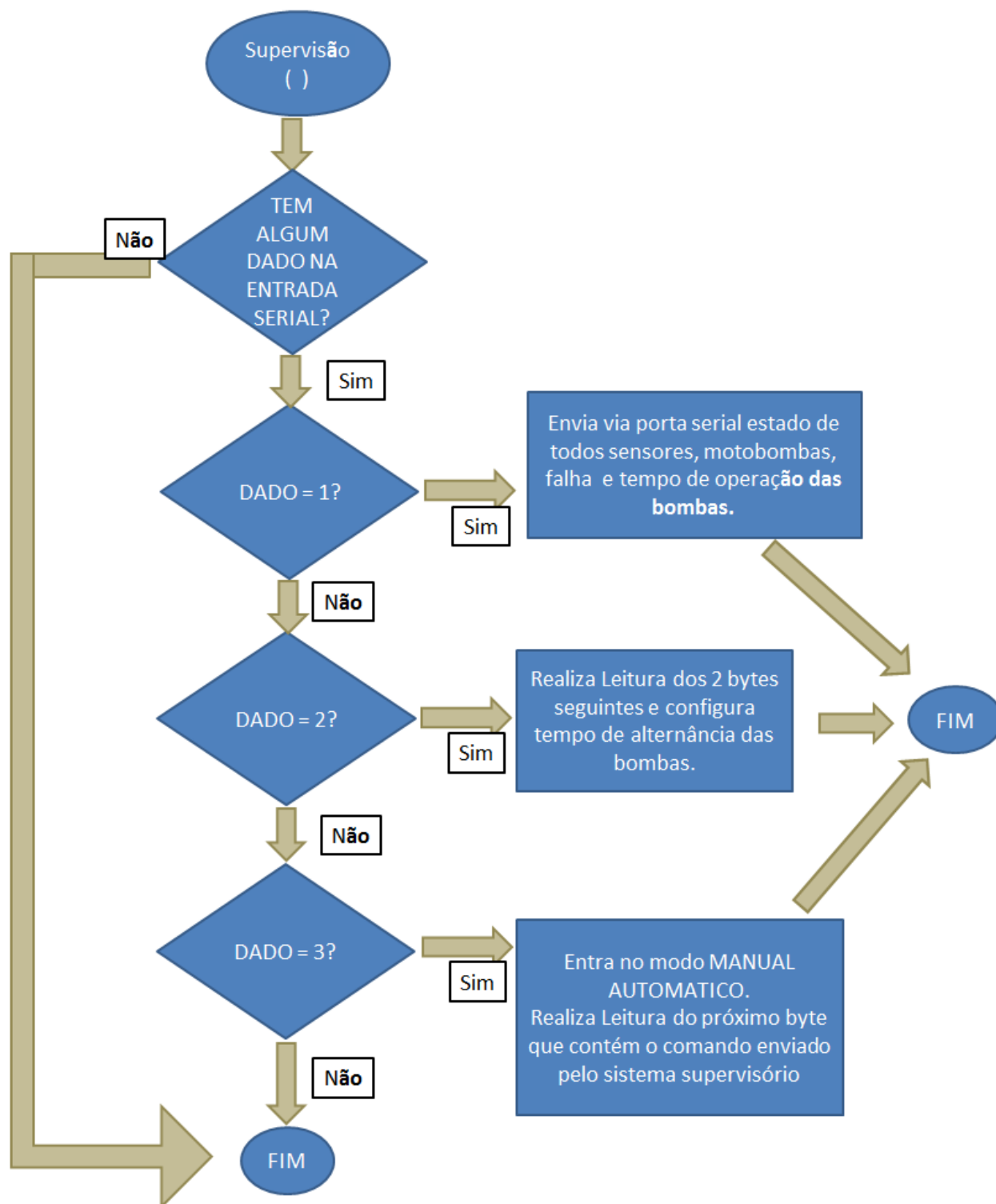


Figura 3.4.4 – Fluxograma da função supervisão

(Fonte: Autor)

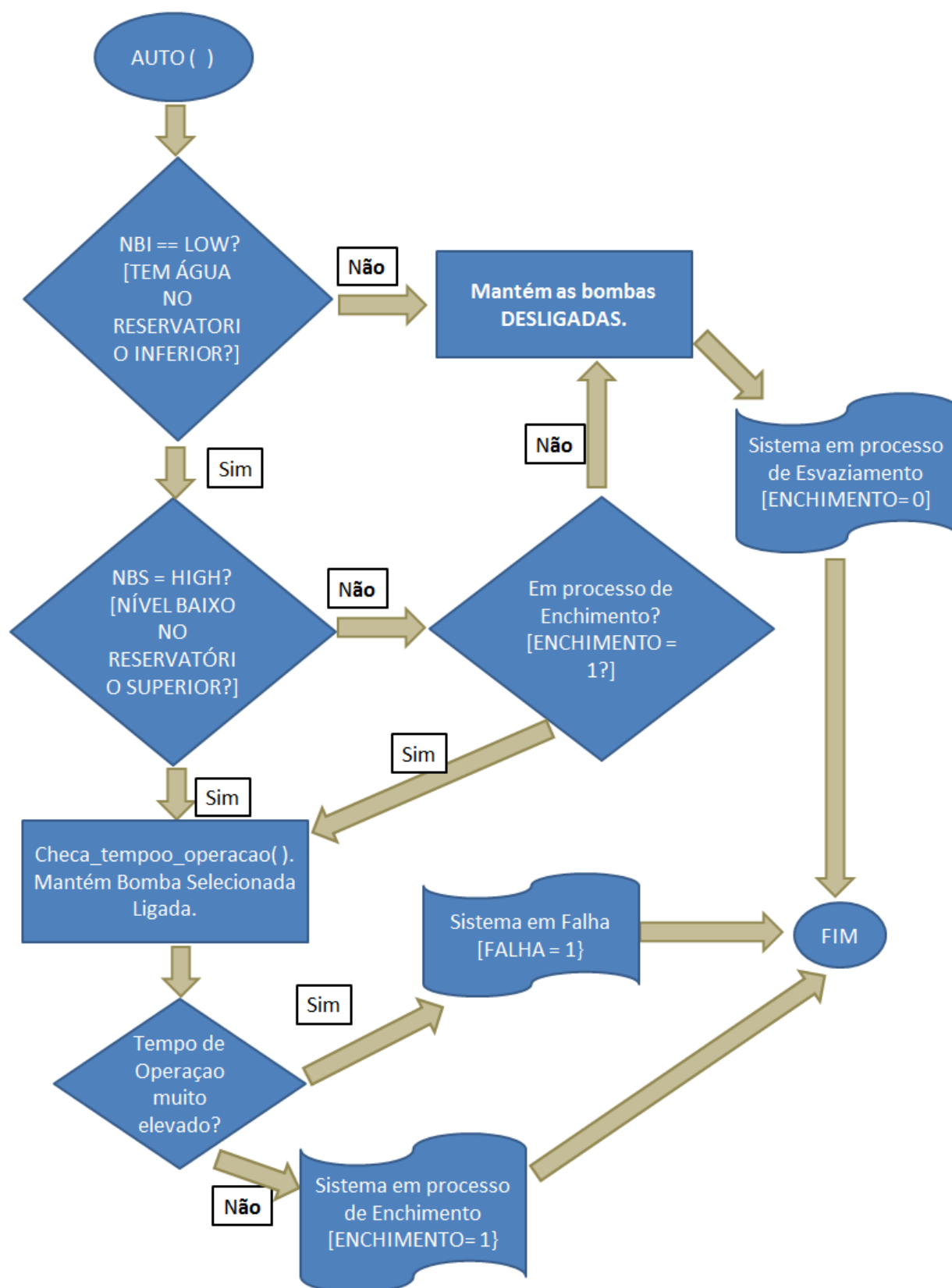


Figura 3.4.5 – Fluxograma da função automático

(Fonte: Autor)

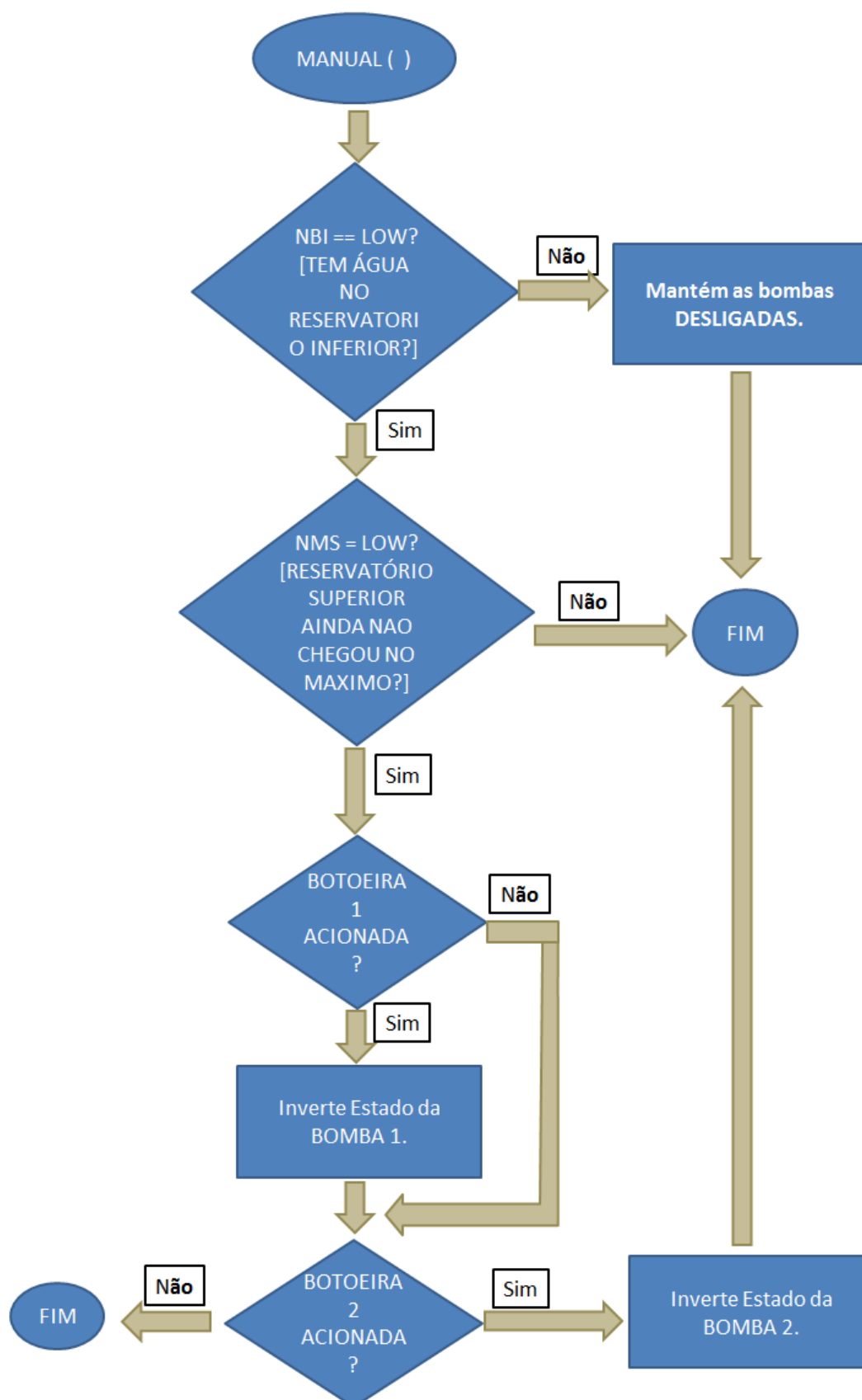


Figura 3.4.6 – Fluxograma da função manual

(Fonte: Autor)

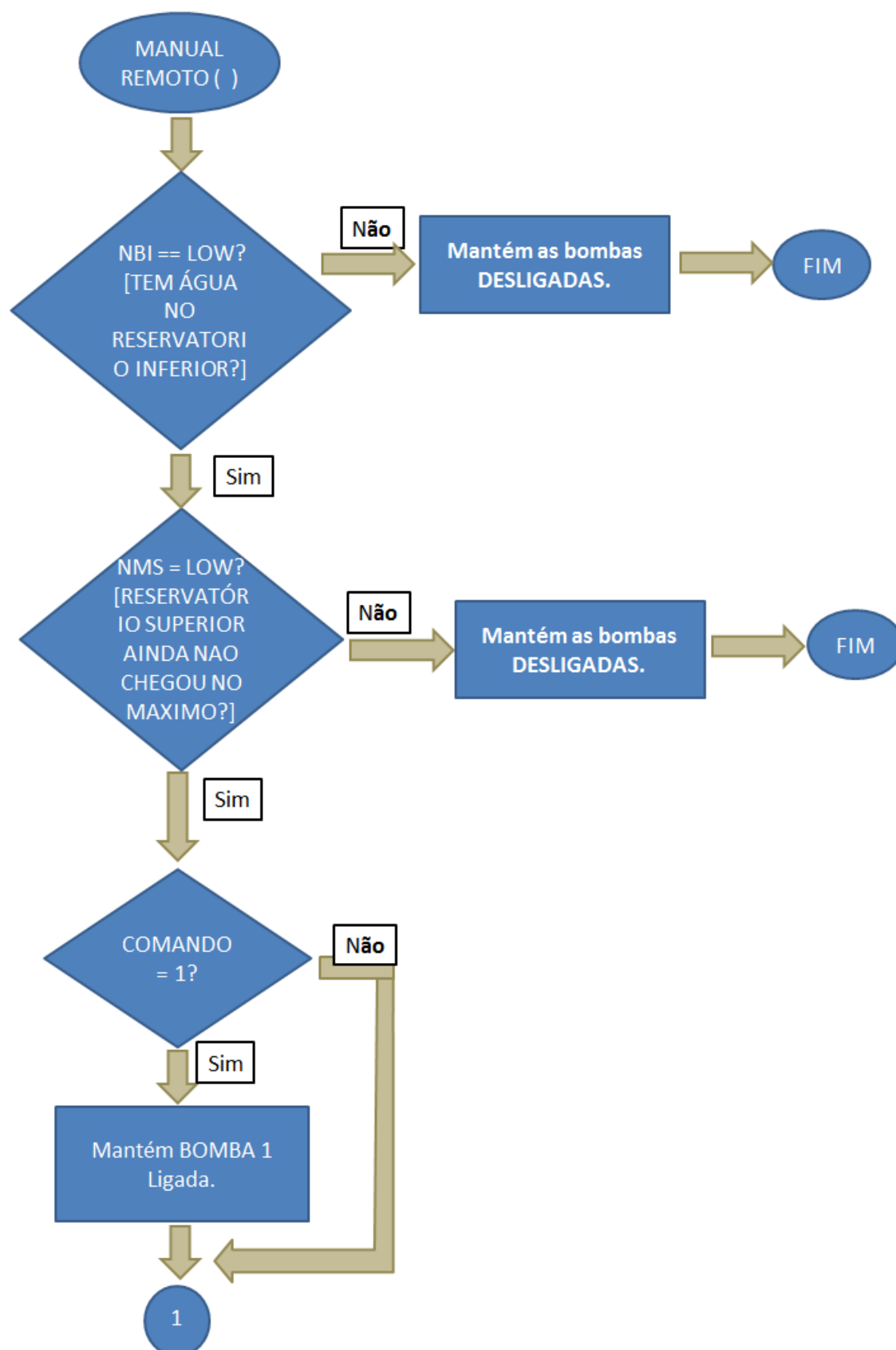


Figura 3.4.7 – Fluxograma da função manual – remoto (parte 1)

(Fonte: Autor)

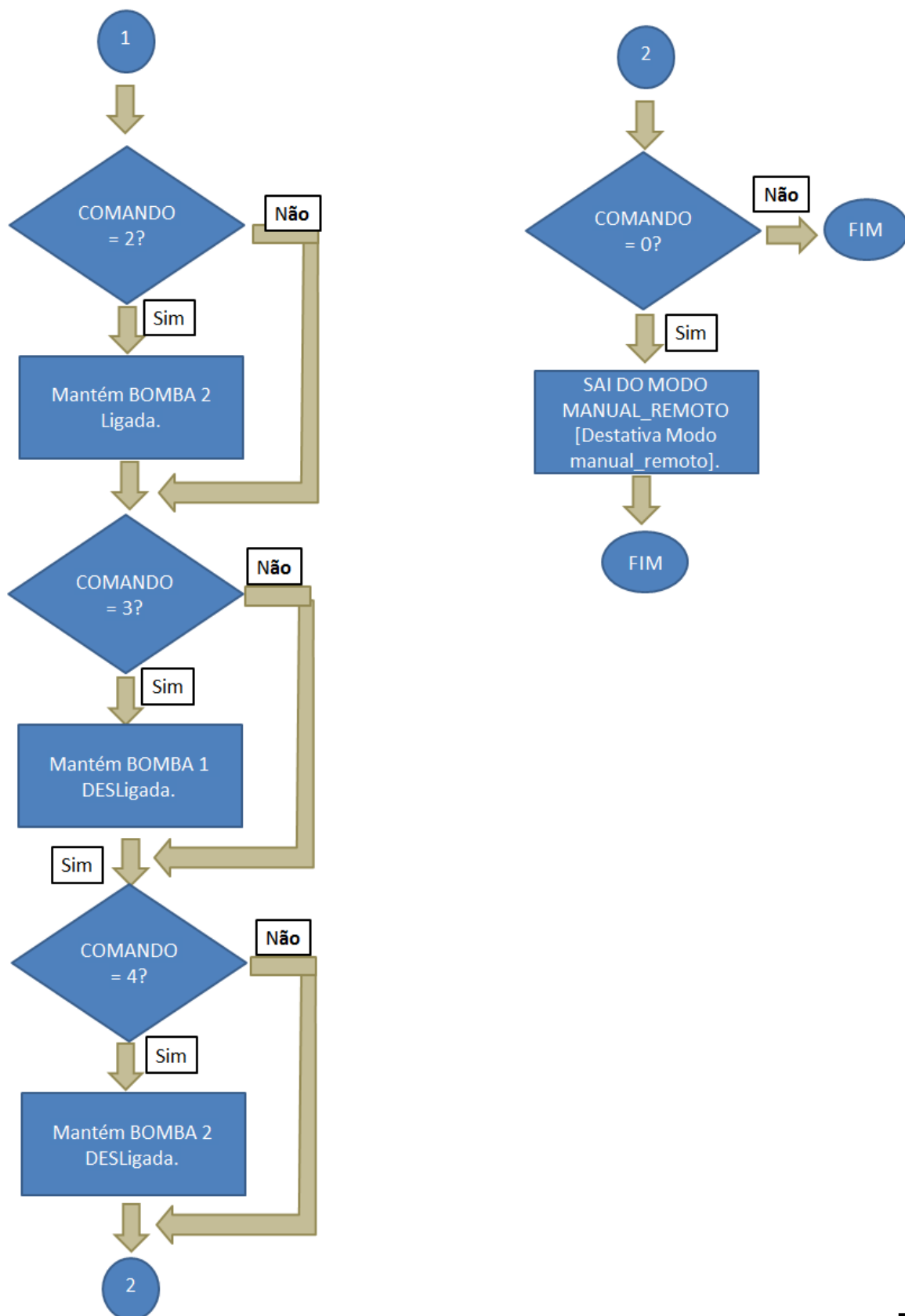


Figura 3.4.8 – Fluxograma da função manual – remoto (parte 2)

(Fonte: Autor)

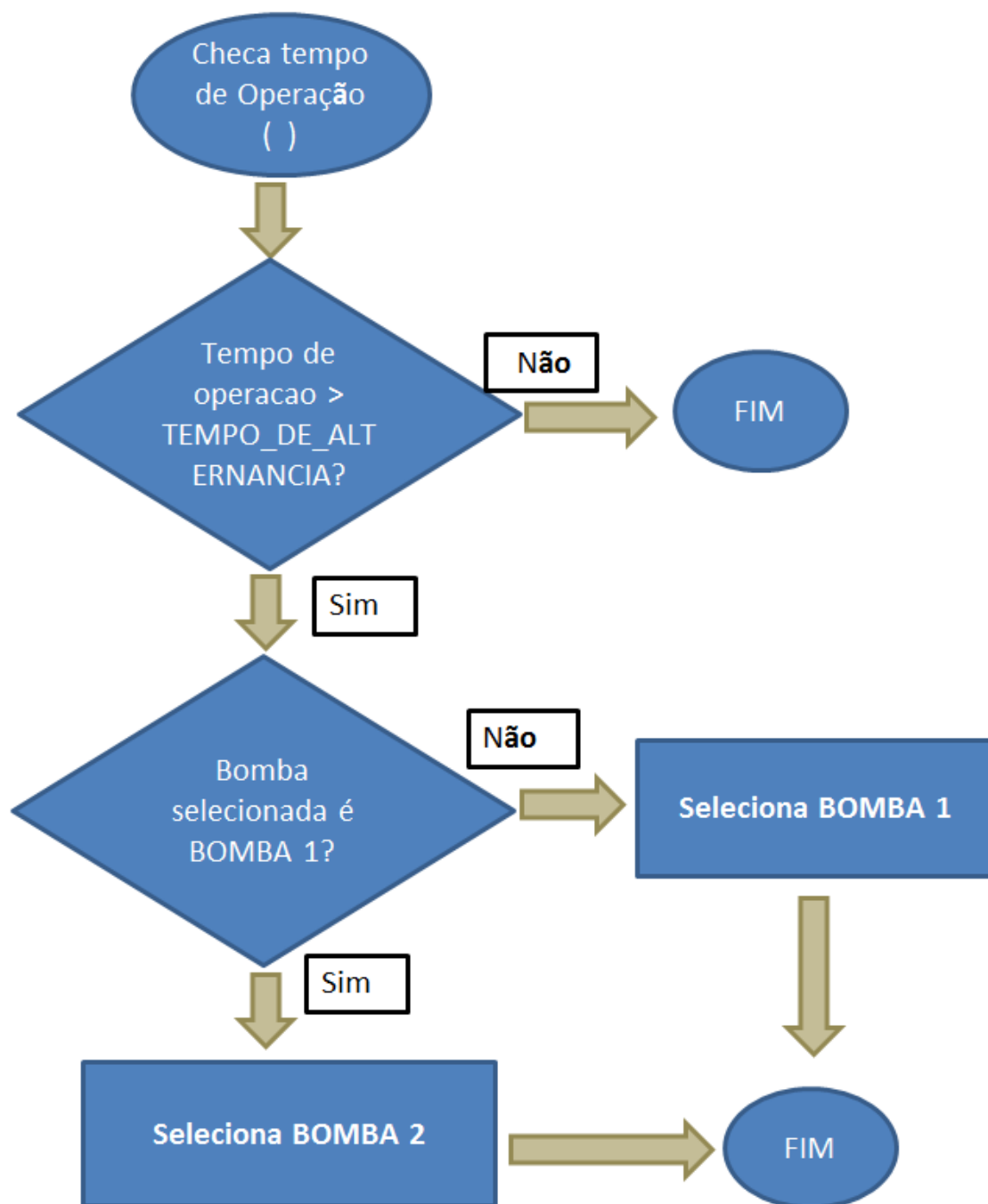


Figura 3.4.9 – Função Checa tempo em operação

(Fonte: Autor)

3.5 HARDWARE

3.5.1 Transformadores de comando

De um modo geral, a denominação de transformador podia ser aplicada a qualquer equipamento elétrico, que recebendo tensão em um dos seus circuitos, a enviasse para outro circuito, já transformada em sua natureza, valor e fase. Entretanto, essa denominação é reservada exclusivamente aos transformadores estáticos, isto é, aqueles que são utilizados para modificar os valores de tensão alternada (ou corrente) e nomes especiais são dados aos outros tipos de transformadores, tais como: conversores de tensão, retificadores de tensão e inversores.

Os tipos de transformadores mais comuns em circuitos eletrônicos são aqueles constituídos de dois enrolamentos separados e um núcleo de ferro. Esses dois enrolamentos são chamados de primário (ligado na fonte de CA) e secundário (ligado na carga a ser alimentada). O enrolamento primário é aquele que recebe a tensão a transformar e o secundário, é aquele onde se desenvolve, baseado no princípio físico da indução eletromagnética, a tensão que se deseja, observando unicamente a relação de espiras. O campo magnético gerado pela tensão alternada é variável no tempo (corrente alternada) e por isso mesmo há indução no secundário, de acordo com a Lei de Lenz de uma tensão alternada. O núcleo de ferro tem por fim aumentar a intensidade do campo criado pelo primário, de modo a tornar mais forte o efeito indutivo e portanto, mais eficiente a ação transformadora do equipamento. O transformador serve para duas finalidade: 1º - Isolar o circuito de controle da fonte de alimentação em corrente alternada, e 2º - elevar ou abaixar a tensão da linha para o valor desejado, conforme relação de espiras. A representação simbólica de um transformador, conforme figura 3.5.1 – Representação simbólica.

O transformador ideal tem a relação de espiras: $V_1/V_2=I_2/I_1=N_1/N_2$, onde:

V = tensão nos terminais;

I = corrente;

N = número de espiras;

1 = enrolamento primário; e

2 = enrolamento secundário.

No enrolamento primário, ou de entrada, recebe a corrente alternada, que deve ser transformada. No núcleo se forma o campo magnético, que constantemente varia, com o que as espiras de um segundo enrolamento, o enrolamento secundário ou de saída, são continuamente cortados e, por isso aparece no mesmo uma força eletromotriz. Segundo as leis da indução, a tensão secundária que se forma tal como a tensão de auto-indução, tem um sentido contrário à tensão primária que a originou, isto é, a tensão secundária está defasada em relação à tensão primária de 180° . Ligando-se uma carga, ou consumidor, o enrolamento secundário também cria um campo magnético no núcleo (Φ_2), de sentido contrário ao campo magnético primário (Φ_1). O fluxo total é, por isso, enfraquecido, e, com ele, a tensão de auto-indução do enrolamento primário. Como resultado, a absorção da corrente primária cresce com o aumento da carga. A grandeza da tensão secundária depende da relação entre o número de espiras primárias e secundárias. Se o enrolamento secundário tem o mesmo número de espiras do enrolamento primário, então a tensão em ambos os enrolamentos tem o mesmo valor (relação entre espiras 1:1). Se o enrolamento secundário tem o dobro do número de espiras do enrolamento primário, a tensão secundária é duas vezes maior que a tensão primária (relação de espiras 1:2). Nos transformadores, as tensões variam na mesma proporção, com as espiras e as correntes variam no sentido inverso do numero de espiras.

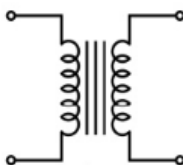


Figura 3.5.1 – Simbologia de um transformador

(Fonte: Autor)

3.5.2 Ponte Retificadora de Onda Completa

Todos os retificadores estáticos baseiam seu funcionamento no mesmo princípio. Atuam como válvulas elétricas, que apenas deixam passar a corrente numa direção. De ambos os semiciclos da corrente alternada, apenas um pode passar pelo retificador (sentido da condução), enquanto que no outro semiciclo, que tem sentido contrário é bloqueado, conforme demonstrado no gráfico, figura 3.5.2 – Curva característica do diodo em condução e bloqueio. A corrente assim resultante é uma corrente pulsante, cujas as flutuações podem ser compensadas pelo acréscimo de capacitores.

A ponte retificadora é um componente importante de uma fonte de alimentação eletrônica, pois converte corrente alternada em corrente contínua. Os componentes de uma ponte retificadora podem ser diodos semicondutores, “*Silicon Controlled Rectifier*” - SCR's ou diodos a gás. As pontes retificadoras com diodos semicondutores são os mais populares. A saída de uma ponte retificadora não é uma tensão contínua, pura e suave. Pelo contrário, é uma forma de tensão contínua pulsante. A figura 3.5.3 – mostra um circuito de funcionamento da ponte retificadora de onda completa. Denomina-se ponte retificadora ao conjunto de quatro diodos que ao receberem tensão alternada nos diodos de entrada separa os pulsos positivos e negativos na saída permitindo retificação de onda completa. A entrada de CA (corrente alternada) tem uma saída polarizada. Pode ser vista uma onda típica no diagrama da figura 3.5.4 – Circuito retificador de onda completa. Essa tensão não poderia ser usada como corrente contínua nos sistemas amplificadores, de modo que um circuito de filtro é usado. A única finalidade do filtro é suavizar as pulsações a fim de obter uma tensão de saída pura (ou quase pura).

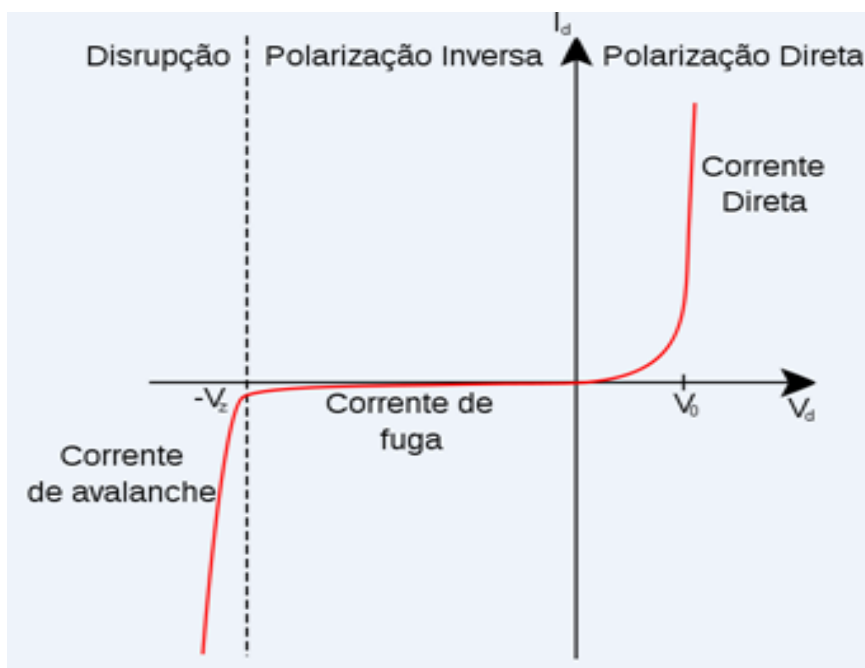


Figura 3.5.2 – Curva característica diodo em condução e bloqueio

(Fonte: Wikipedia)

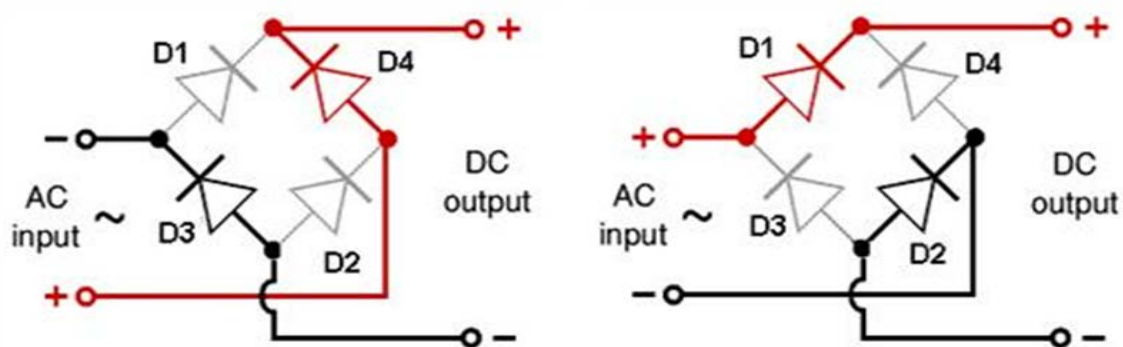


Figura 3.5.3 - Circuito retificador de onda completa

(Fonte: Autor)

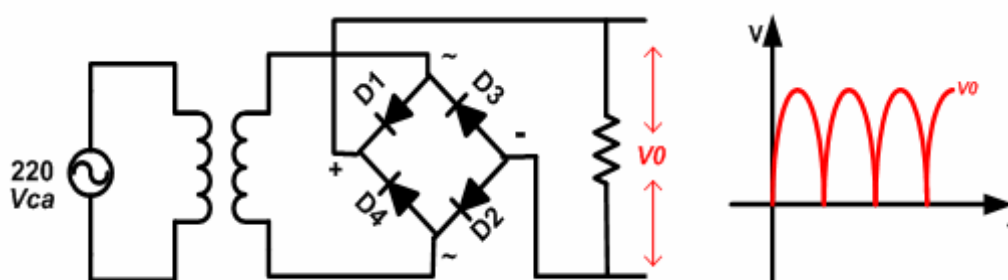


Figura 3.5.4 – Onda típica, tensão (V_o) de saída

(Fonte: Autor)

3.5.3 Regulador de tensão

O regulador de tensão é um componente de estado sólido que visa regular a tensão de forma linear na saída (V_{out}), conforme figura 3.5.5 – Regulador de tensão, tendo em sua entrada (V_{in}) e saída (V_{out}), capacitores de desacoplamento ($C1$ e $C2$), evitando absorção de sinais espúrios que tornariam o circuito instável. Os capacitores ($C1$ e $C2$) são conectados ao GND.

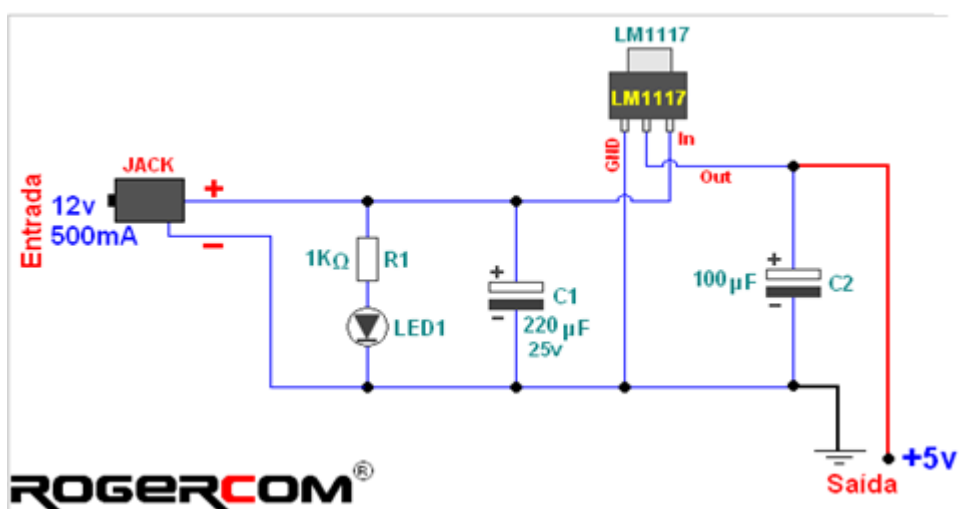


Figura 3.5.5 – Regulador de tensão

(Fonte: Rogercom)

3.5.4 Circuito integrado encapsulado Optoacoplador

O componente optoacoplador é um tipo de relé de estado sólido, muito mais sensível que o LED, fornece luz quando alimentado com as tensões corretas ou cuja

a operação muda de alguma forma quando exposto à luz. Qualquer variação de tensão em V_s (+) produz uma variação na corrente do LED, que faz variar a corrente no fototransistor. Isso, por sua vez produz uma variação na tensão dos terminais coletor-emissor. Portanto, um sinal de tensão é acoplado do circuito de entrada para o circuito de saída, conforme figura 3.5.6 – Diagrama esquemático do optoacoplador com um LED e um fototransistor.

A grande vantagem de um optoacoplador é o isolamento elétrico entre os circuitos de entrada e saída, ou seja, o ponto comum do circuito de entrada é diferente do ponto comum do circuito de saída. Por isso, não existe um ponto de contato elétrico entre os dois circuitos. Isto significa que é possível aterrar um dos circuitos e deixar o outro em flutuação.

Dispositivo	Nº do Pino	Função
Diodo infravermelho	1,3,5 e 7	Anodo
	2,4,6 e 8	Catodo
Fototransistor	9,11,13 e 15	Emissor
	10,12,14 e 16	Coletor

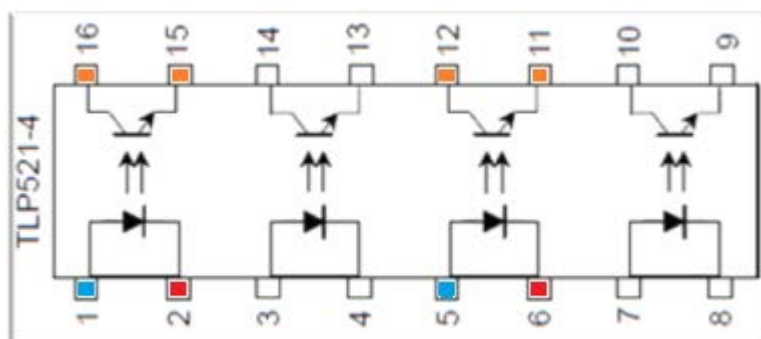


Figura 3.5.6 – Diagrama esquemático do optoacoplador

(Fonte: Toshiba Corporation)

CAPÍTULO 4 – DESENVOLVIMENTO

A necessidade de armazenagem de líquidos é tão antiga quanto à presença do homem no planeta, particularmente o uso da água potável para atender as suas necessidade diárias, razão pela qual o uso deste insumo deverá ser realizado de forma racional, evitando o desperdício durante a manipulação ou armazenagem. Um sistema automatizado ajuda nesta tarefa do uso racional e consciente da água.

Este capítulo tem como objetivo apresentar as etapas de desenvolvimento do projeto de um sistema que realiza alternância, supervisão e controle de motobombas de recalque de forma automática.

Está apresentado em quatro partes: conceitos iniciais, hardware da fonte de alimentação elétrica principal, hardware de interface entre o microcontrolador arduino e circuito de potência, cuja a arquitetura geral do sistema está representado na figura 4.1.

Os componentes dos hardware da fonte de alimentação elétrica e interface, foram montados sobre placas de fenolite de trilha perfurada cobreada, sob a forma de uma matriz de contatos com dimensões de 10 cm de largura x 10 cm de comprimento, fabricadas pela empresa Comkitel.

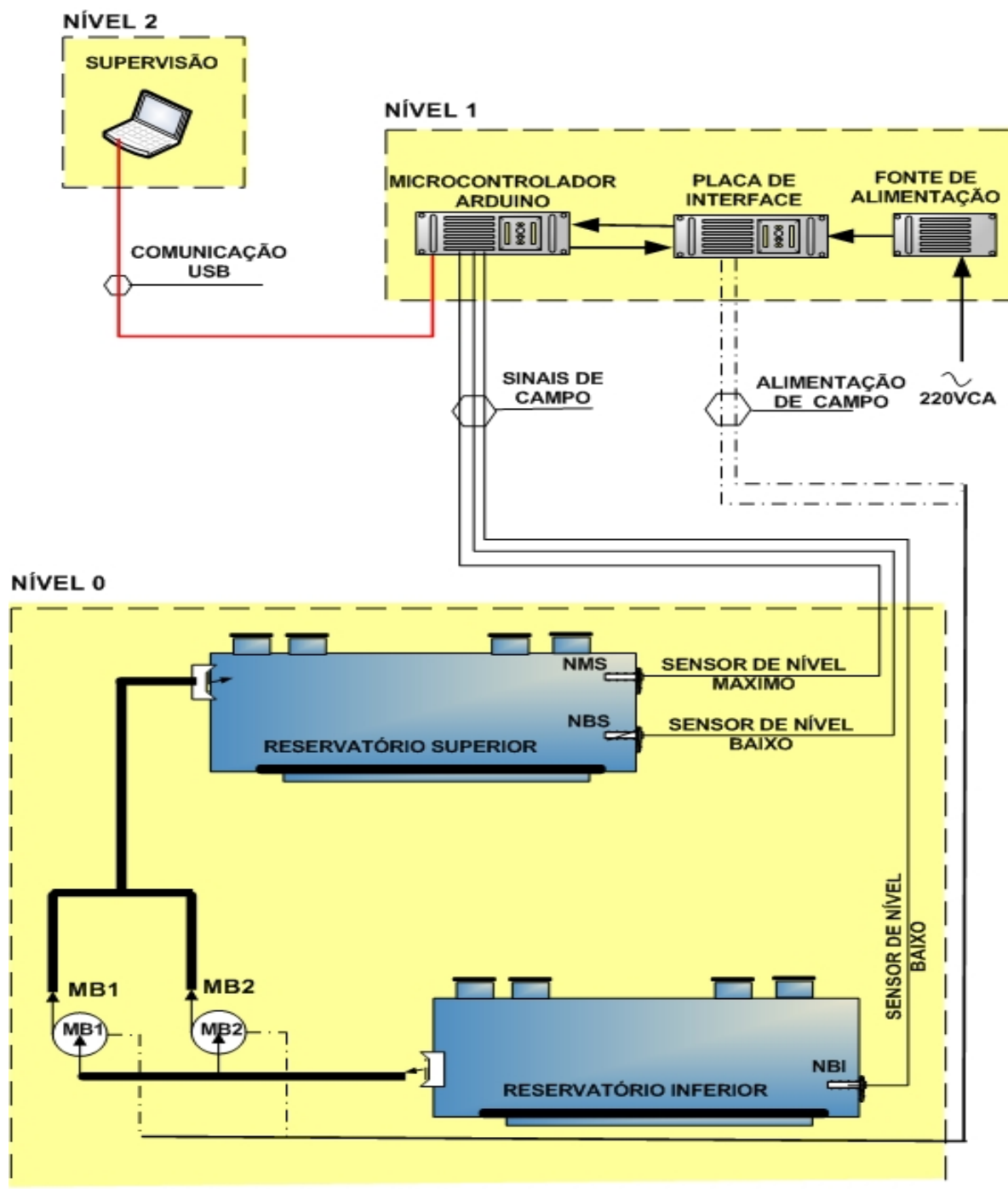


Figura 4.1 – Arquitetura Geral do Sistema

(Fonte: Autor)

4.1 CONCEITOS INICIAIS

As motobombas de recalque são equipamentos controladas por sensores de níveis instaladas nos reservatórios inferior e superior, sendo toda lógica de controle implementada no microcontrolador arduino que é o responsável pela interface entre os hardwares do nível 0 (aquisição de dados) e nível 1 (tratamento dos dados, responsável pela interface IHM) e nível 2 (supervisão das grandezas), permitindo a interface homem-máquina.

4.1.1 Reservatórios de água

Foram projetados e construídos dois reservatórios para passagem (inferior) e acúmulo (superior) d'água em material transparente de acrílico com espessura de 3 mm e as dimensões de 16 centímetros de comprimento x 13 centímetros de largura x 20 centímetros de altura e capacidade volumétrica de $0,00416 \text{ m}^3$.

Os reservatórios foram montados sobre duas plataformas, também de acrílico com espessuras de 6 mm, com uma diferença de nível de 30 cm entre a base do reservatório de passagem (reservatório inferior) e a base do reservatório de acumulação (reservatório superior). As plataformas de sustentação dos reservatórios tem as seguintes dimensões retangulares: Plataforma inferior – 45 cm de comprimento x 25 cm de largura e plataforma superior – 25 cm de comprimento x 22 cm de largura, figura 4.1.1 – Reservatórios superior e inferior.

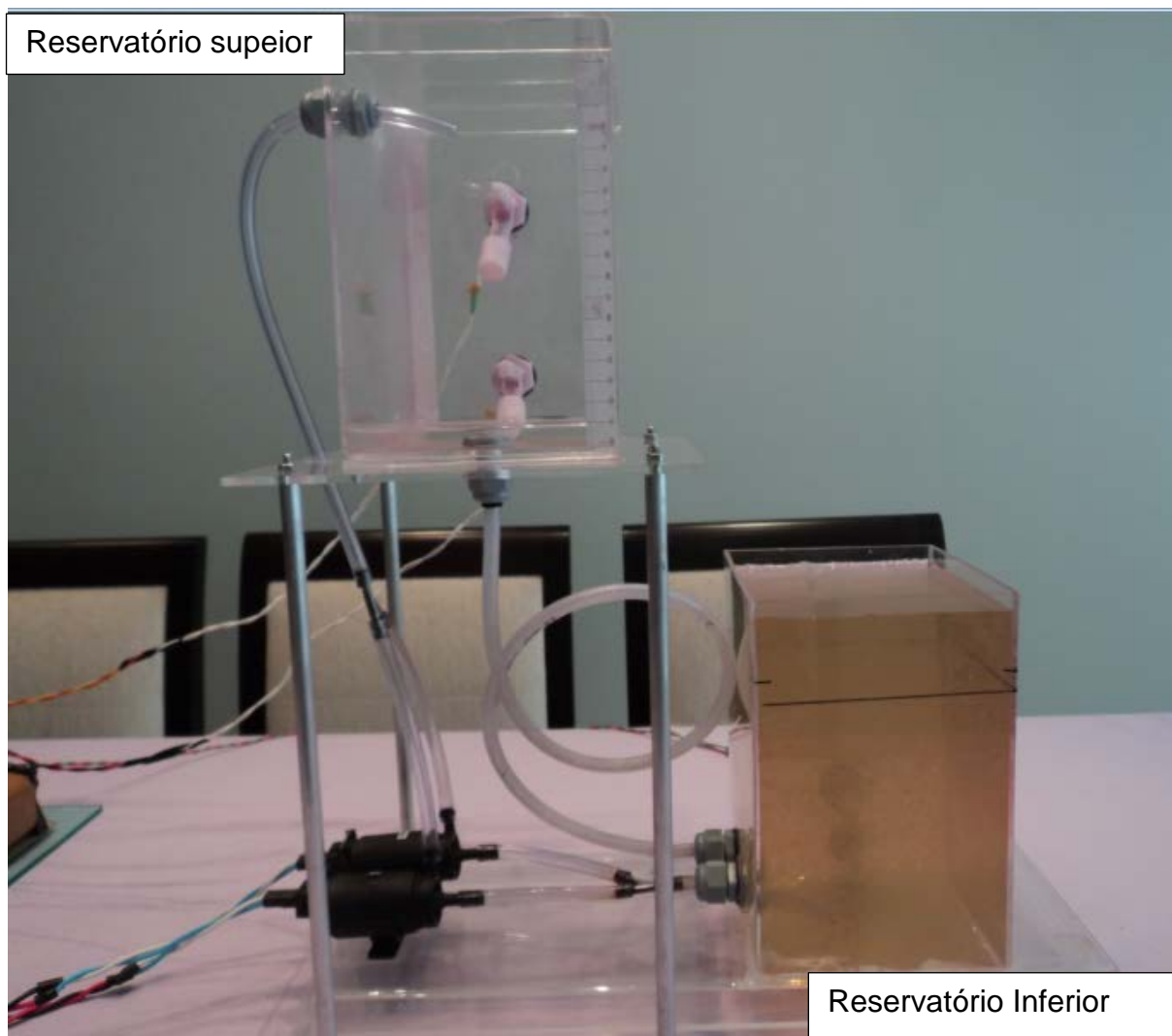


Figura 4.1.1 – Reservatórios superior e inferior

(Fonte: Autor)

4.1.2 Sistema de Controle

No reservatório de água superior foram instalados dois sensores de níveis, tipo reed switches, figura 4.1.2, de contatos secos denominados nível máximo do reservatório superior (NMS) e nível baixo do reservatório superior (NBS). O sensor NMS está instalado na máxima elevação do reservatório de água superior, enquanto que o sensor NBS, está instaldo na mínima elevação do reservatório superior.

Quando do fechamento do contato do sensor NMS o mesmo transmite sinal para que ocorra parada das bombas, evitando o transbordamento durante o sistema de recalque, enquanto que o sensor de nível NBS, com o contato normalmente

aberto transmite sinal para permitir a condição de partida das bombas, e ao mesmo tempo sinalizando que o reservatório de água superior está no limite mínimo de sua capacidade volumétrica.

No reservatório de água inferior foi instalado um sensor de nível de contatos secos, denominado sensor de nível baixo do reservatório inferior (NBI), que tem também a função de inibir os acionamentos das motobombas, evitando assim que a bomba seja acionada sem ter água no reservatório. Este sensor, também de contato seco, que estando na posição normalmente fechado dá condição de partidas das bombas de recalque e com contato na posição normalmente aberto não permite a partida das bombas e sinaliza falta d'água no reservatório de água inferior, além de evitar que as motobombas partam em vazio, o que permitiria a entrada de ar na tubulação de recalque.

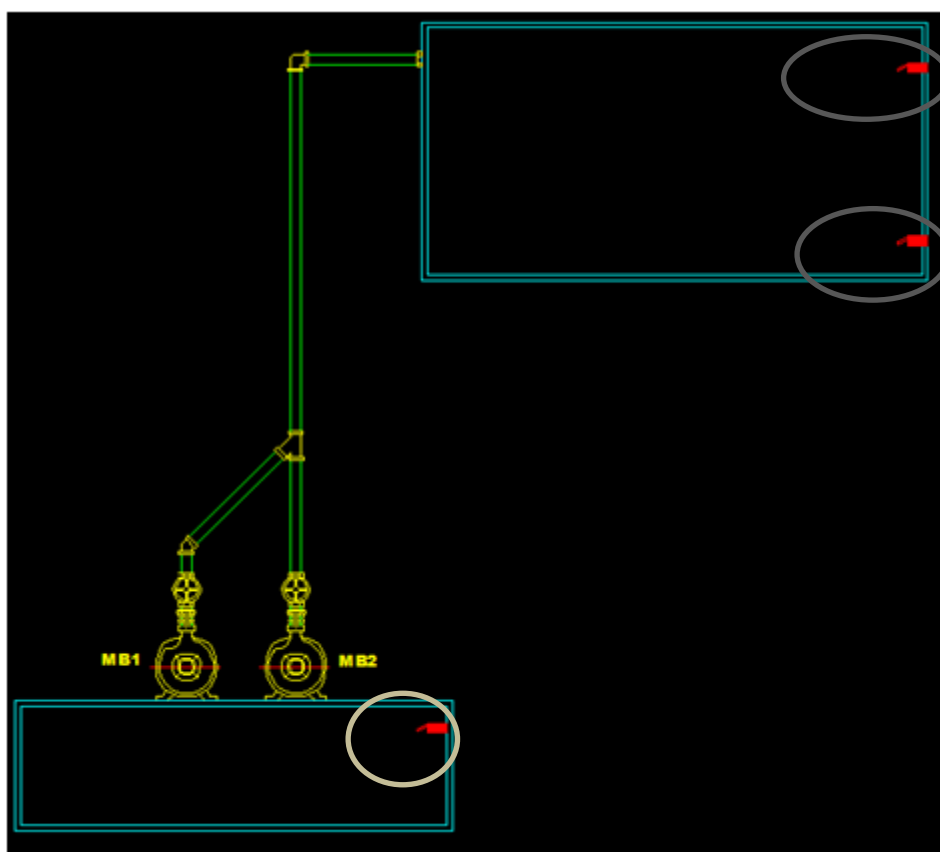


Figura 4.1.2 – Sensores de nível - reservatório inferior e superior

(Fonte: Autor)

4.1.3 Sistema de Supervisão

O sistema de supervisão é realizado pela interface serial, do tipo USB entre o microcontrolador arduino e o PC, que poderá estar instalado num ambiente distante dos equipamentos de aquisição de dados do nível 0, e ter o acesso via tela de supervisão, que é de fácil manipulação, conforme figura 4.1.3 Nesta tela temos o painel de indicação de status das MB1 e MB2, indicação das horas, botão de liga/desliga supervisão, botão de liga/desliga comando manual remoto e indicação dos níveis dos reservatórios superior e inferior, além do botão menu para monitorar o fluxo das informações entre o microcontrolador e o PC e dar “reset”, via software.

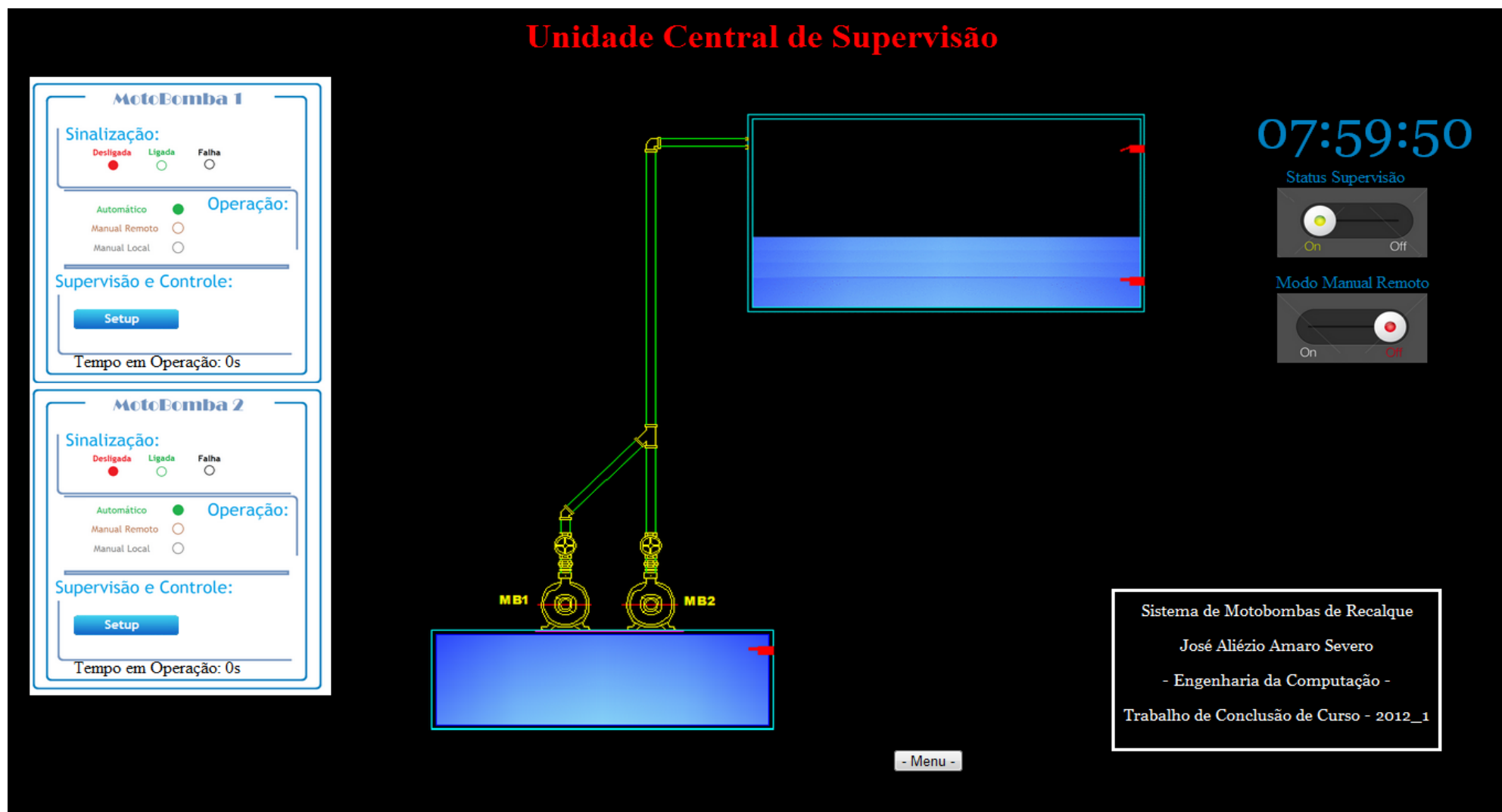


Figura 4.1.3 – Tela da Supervisão

(Fonte: Autor)

4.1.4 Microcontrolador Arduino

O microcontrolador arduino é quem ativa os dispositivos externos, tais como: sensores de níveis, motobombas de recalque, relés de comutação, LED de indicação de status e realiza a comunicação entre o PC e as placas de interface, visando permitir a supervisão pelo usuário do sistema de alternância das motobombas de recalque.

4.2 TELAS DE SUPERVISÃO

Para identificar as informações enviadas ou recebidas do microcontrolador pela porta USB do computador, definiu-se que as informações seriam transmitidas e recebidas baseadas na tabela de caracteres ASCII, tabela 4.2.1 – Tabela de caracteres ASCII.

Tabela 4.2.1 - Tabela de caracteres ASCII. (Fonte: LookupTables)

Dec	Hx	Oct	Char	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr
0	0	000	NUL (null)	32	20	040	 	Space	64	40	100	@	@	96	60	140	`	`
1	1	001	SOH (start of heading)	33	21	041	!	!	65	41	101	A	A	97	61	141	a	a
2	2	002	STX (start of text)	34	22	042	"	"	66	42	102	B	B	98	62	142	b	b
3	3	003	ETX (end of text)	35	23	043	#	#	67	43	103	C	C	99	63	143	c	c
4	4	004	EOT (end of transmission)	36	24	044	$	\$	68	44	104	D	D	100	64	144	d	d
5	5	005	ENQ (enquiry)	37	25	045	%	%	69	45	105	E	E	101	65	145	e	e
6	6	006	ACK (acknowledge)	38	26	046	&	&	70	46	106	F	F	102	66	146	f	f
7	7	007	BEL (bell)	39	27	047	'	'	71	47	107	G	G	103	67	147	g	g
8	8	010	BS (backspace)	40	28	050	((72	48	110	H	H	104	68	150	h	h
9	9	011	TAB (horizontal tab)	41	29	051))	73	49	111	I	I	105	69	151	i	i
10	A	012	LF (NL line feed, new line)	42	2A	052	*	*	74	4A	112	J	J	106	6A	152	j	j
11	B	013	VT (vertical tab)	43	2B	053	+	+	75	4B	113	K	K	107	6B	153	k	k
12	C	014	FF (NP form feed, new page)	44	2C	054	,	,	76	4C	114	L	L	108	6C	154	l	l
13	D	015	CR (carriage return)	45	2D	055	-	-	77	4D	115	M	M	109	6D	155	m	m
14	E	016	SO (shift out)	46	2E	056	.	.	78	4E	116	N	N	110	6E	156	n	n
15	F	017	SI (shift in)	47	2F	057	/	/	79	4F	117	O	O	111	6F	157	o	o
16	10	020	DLE (data link escape)	48	30	060	0	0	80	50	120	P	P	112	70	160	p	p
17	11	021	DC1 (device control 1)	49	31	061	1	1	81	51	121	Q	Q	113	71	161	q	q
18	12	022	DC2 (device control 2)	50	32	062	2	2	82	52	122	R	R	114	72	162	r	r
19	13	023	DC3 (device control 3)	51	33	063	3	3	83	53	123	S	S	115	73	163	s	s
20	14	024	DC4 (device control 4)	52	34	064	4	4	84	54	124	T	T	116	74	164	t	t
21	15	025	NAK (negative acknowledge)	53	35	065	5	5	85	55	125	U	U	117	75	165	u	u
22	16	026	SYN (synchronous idle)	54	36	066	6	6	86	56	126	V	V	118	76	166	v	v
23	17	027	ETB (end of trans. block)	55	37	067	7	7	87	57	127	W	W	119	77	167	w	w
24	18	030	CAN (cancel)	56	38	070	8	8	88	58	130	X	X	120	78	170	x	x
25	19	031	EM (end of medium)	57	39	071	9	9	89	59	131	Y	Y	121	79	171	y	y
26	1A	032	SUB (substitute)	58	3A	072	:	:	90	5A	132	Z	Z	122	7A	172	z	z
27	1B	033	ESC (escape)	59	3B	073	;	;	91	5B	133	[[123	7B	173	{	{
28	1C	034	FS (file separator)	60	3C	074	<	<	92	5C	134	\	\	124	7C	174	|	
29	1D	035	GS (group separator)	61	3D	075	=	=	93	5D	135]]	125	7D	175	}	}
30	1E	036	RS (record separator)	62	3E	076	>	>	94	5E	136	^	^	126	7E	176	~	~
31	1F	037	US (unit separator)	63	3F	077	?	?	95	5F	137	_	_	127	7F	177		DEL

Source: www.LookupTables.com

Os dados recebidos para composição da tela de supervisão são enviados pelo arduino em formato de uma frase de 10 elementos, cuja a frase recebida pela

interface do supervisor, oriunda do microcontrolador Arduino conforme sequência da tabela 4.2.2.

Tabela 4.2.2 - Frase recebida pela interface do supervisor. (Fonte: Autor)

MB1	MB2	NMS	NBS	NBI	M/A	Manual/ Remoto	FALHA	TEMPO OPERAÇÃO	TEMPO OPERAÇÃO
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------------------	-------	-------------------	-------------------

A Tabela 4.2.3 apresenta o significado de cada item da frase acima.

Tabela 4.2.3 - Descrição dos itens da frase enviada à interface de supervisão

Item	Referência	Valores
MB1	Indica o estado da Moto-bomba MB1	0 = bomba desligada; 1 = bomba ligada.
MB2	Indica o estado da Moto-bomba MB2	0 = bomba desligada; 1 = bomba ligada.
NMS	Indica o estado do sensor superior do reservatório superior	0 = reservatório não está em nível máximo; 1 = reservatório em nível máximo.
NBS	Indica o estado do sensor inferior do reservatório superior	0 = reservatório está em nível baixo; 1 = reservatório superior vazio.
NBI	Indica o estado do sensor do reservatório inferior	0 = reservatório inferior dispõe de água; 1 = reservatório inferior vazio.
M/A	Indica o estado da chave Manual – Automático	0 = Modo manual; 1 = Modo automático.
Manual/Remoto	Indica se o modo manual Remoto está ativado	0 = Modo manual automático desativado; 1 = Modo manual automático ativado.
FALHA	Indica se o sistema está em falha	0 = Sistema não está em falha; 1 = Sistema em Falha.
TEMPO OPERAÇÃO	Indica a dezena do tempo de operação da bomba ativada	Algarismos de 0 a 9
TEMPO OPERAÇÃO	Indica a unidade do tempo de operação da bomba ativada.	Algarismos de 0 a 9

4.2.1 Supervisão em modo operacional

Pelo sistema de supervisão, conforme figura 4.2.1 a figura 4.2.3, realizamos a principal função de monitoramento das motobombas de recalque que é o tempo de alternância das bombas, programada para entrada de dados (tempo em segundos) via teclado do PC, bem como monitorar as condições de operação das bombas, que são condições de automático, operação manual remota, operação local, verificação de falha, controle de nível e transferência da condição de partida e parada no modo manual remoto.

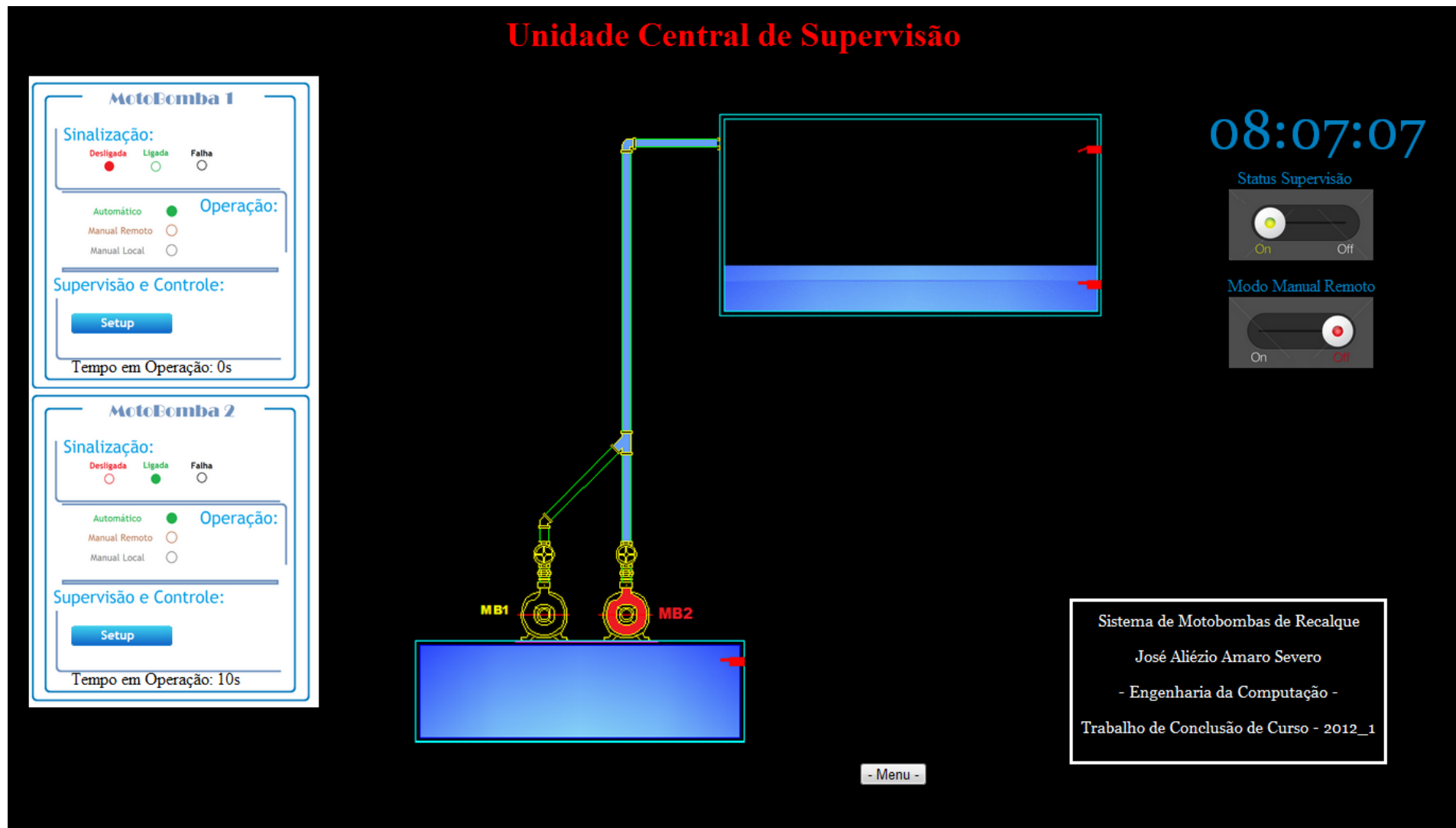


Figura 4.2.1 – Comutação automático – MB2

(Fonte: Autor)

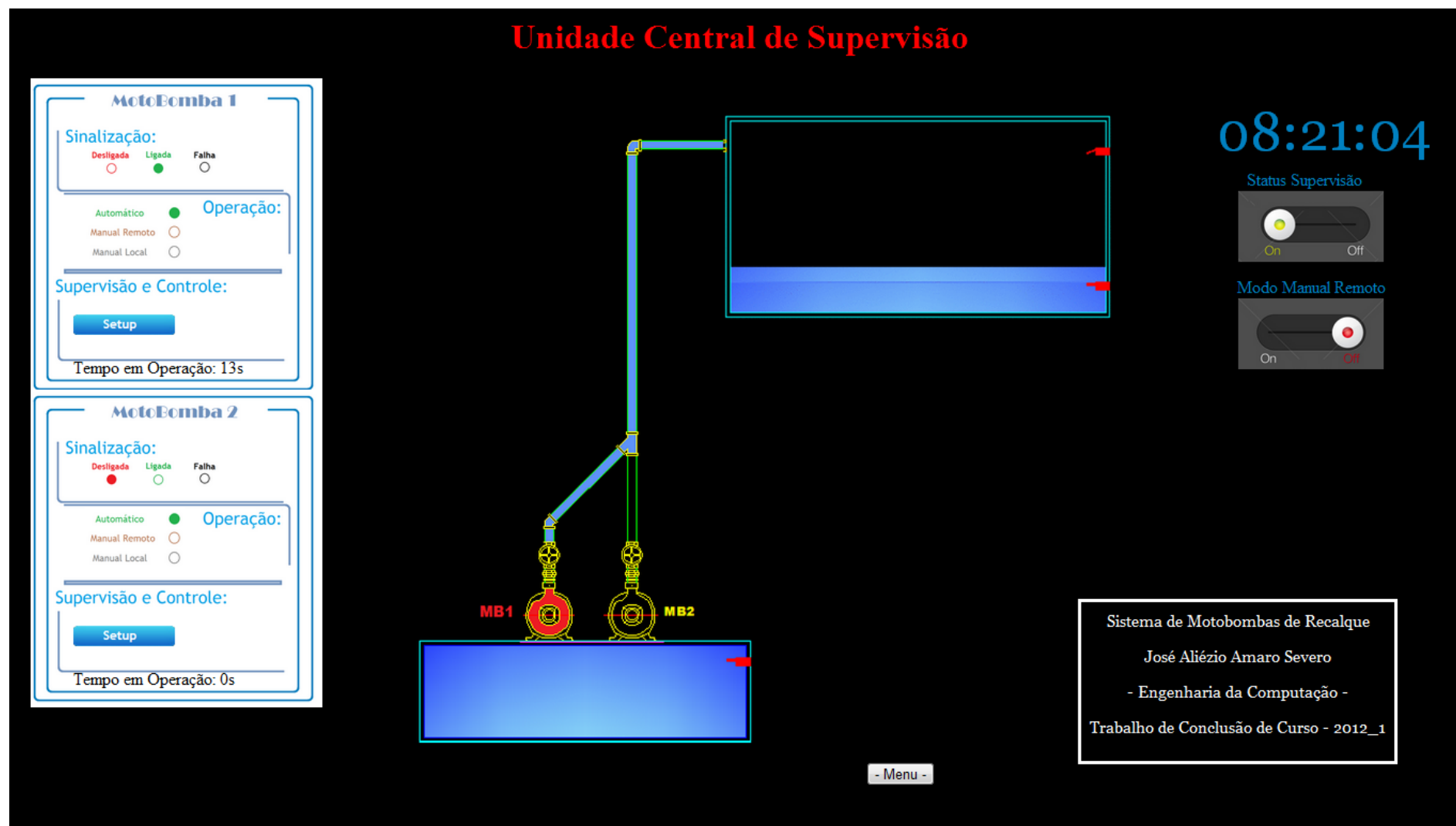


Figura 4.2.2 – Comutação automático – MB1

(Fonte: Autor)

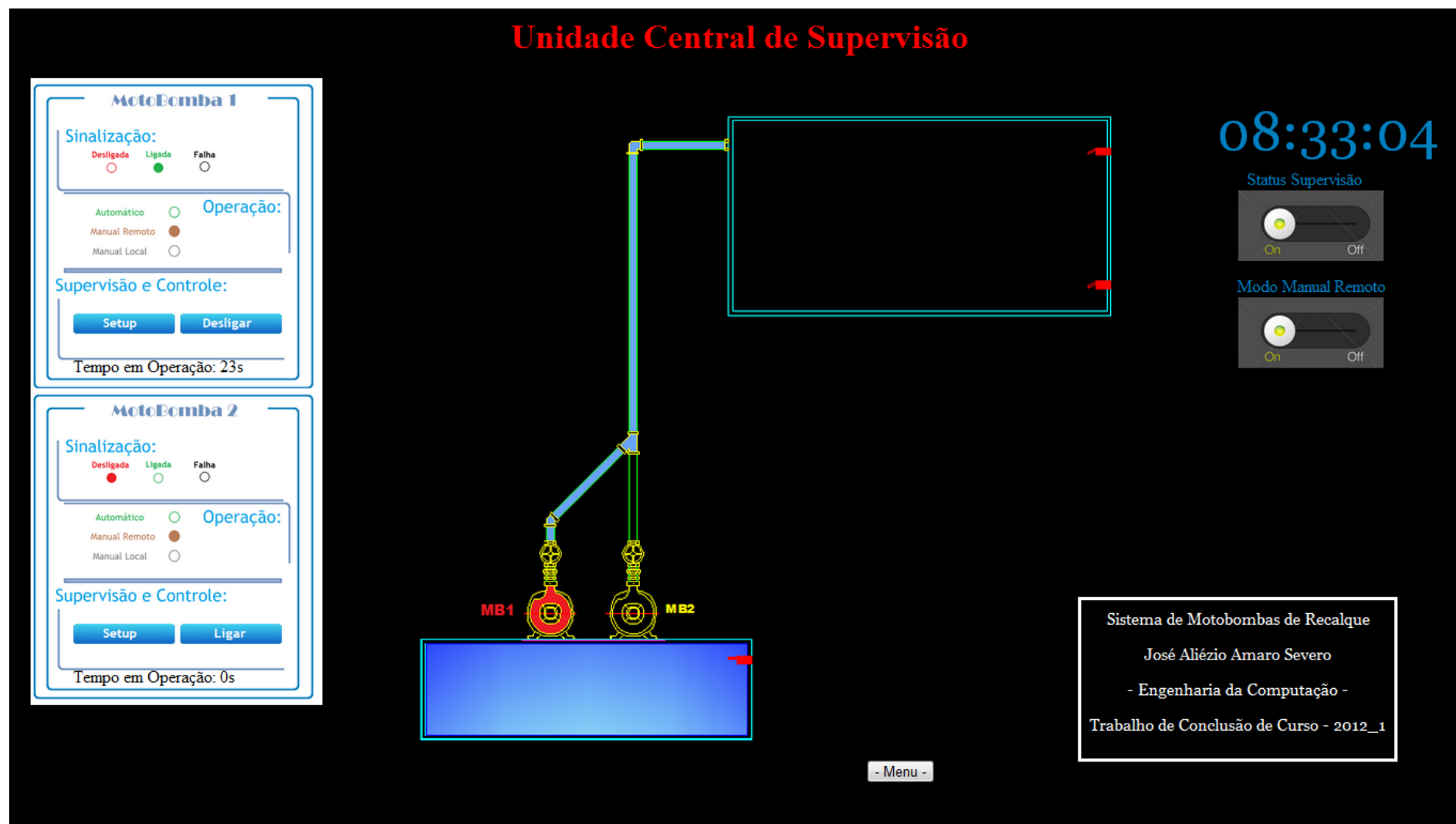


Figura 4.2.3 – Comutação automático – remoto MB1

(Fonte: Autor)

4.3 DIAGRAMA FUNCIONAL

O projeto foi desenvolvido com base nos esquemas elétricos, figura 4.3.1 a figura 4.3.5 – Diagramas funcionais do hardware da fonte de alimentação e hardware de interface do microcontrolador arduino com os circuito de potência.

Para demonstração do projeto foi construído um protótipo composto de duas motobombas de recalque, alimentadas em 12Vcc, dois reservatórios de água (nível superior e nível inferior) com capacidade unitária de quatro litros (volumétrica = $0,00416 \text{ m}^3$) d'água e os hardware de interface entre o circuito de potência e o microcontrolador Arduino, dispositivo este responsável pela comando, controle e supervisão do Sistema.

Na figura 4.3.1, temos o quadro da simbologia dos componentes utilizados no projeto em conformidade com as normas NBR-5444 e NBR-5410, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, contemplados nos hardware's da fonte de alimentação e da placa de interface, uma vez que os componentes hardware do Arduino são embarcados, estão demonstrados no item a seguir.

Os componentes (transformador de controle, ponte retificadora, reguladores de tensão, capacitores, bornes de conexão, diodos, resistores, relés, pinos de interface com microcontrolador e CI fotoacoplador) dos hardware da fonte de alimentação elétrica e interface, foram montados sobre placas de fenolite de trilha perfurada cobreada, sob a forma de uma matriz de contatos com dimensões de 10 cm de largura e 10 cm de comprimento, fabricadas pela empresa Comkitel.

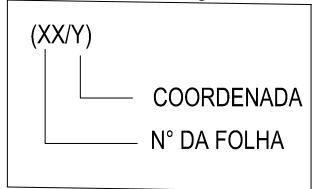
SISTEMA MICROCONTROLADO PARA FUNCIONAMENTO ALTERNADO E AUTOMATICO DE MOTOBOMBAS DE RECALQUE

SIMBOLOGIA

N°	SIMBOLO	DESCRIÇÃO
1		CI FOTOACOPLADOR C/ FOTOTRANSISTOR ÓPTCO COM DIODO INFRA-VERMELHO MODELO TLP521-4
2		BOTOEIRA NORMALMENTE ABERTA COM RETORNO AUTOMATICO (PUSH-BOTTON)
3		CHAVES DE NÍVEL TIPO BÓIA LATERAL
4		DIODO SEMICONDUTOR
5		CONTATO NORMALMENTE ABERTO
6		CONTATO NORMALMENTE FECHADO
7		MOTOR ELETRICO 12V
8		DIODO EMISSOR DE LUZ (LED)
9		CHAVE LIGA / DESLIGA
10		BORNE DE CONEXÃO EXTERNA

N°	SIMBOLO	DESCRIÇÃO
11		RELE
12		PONTE DE DIODOS RETIFICADORA MODELO B500
13		RESISTOR
14		CHAVE DE SELEÇÃO MANUAL AUTOMATICO
15		CI REGULADOR DE TENSÃO LINEAR Vin 7 a 25 Vcc Vin 5Vcc
16		CI REGULADOR DE TENSÃO LINEAR Vin 14,5 a 30 Vcc Vin 12Vcc
17		TRANSFORMADOR MONOFASICO 220-12Vca 75VA
18		CAPACITOR ELETROLITICO
19		CAPACITOR POLIESTER
20		FUSIVEL

OBSERVAÇÃO:



V VWSU

Figura 4.3.1 - Simbologia dos componentes
(Fonte: Autor)

4.3.1 Hardware da Fonte de Alimentação

O hardware da fonte de alimentação, figura 4.3.2, tem como componente principal o transformador monofásico com tensão primária de 220 Vca e tensão secundária de 12 Vca, que alimenta uma ponte retificadora de onda completa que visa fornecer tensão em corrente contínua em 12 Vcc, energizando o barramento do circuito de força das motobombas e o circuito do hardware de interface entre o microcontrolador e o PC, como demonstrada no diagrama elétrico da figura 4.3.3.

Todos os componentes da fonte de alimentação estão indicados na tabela 4.3.1, contemplando os quantitativos e suas respectivas posições no diagrama elétrico.

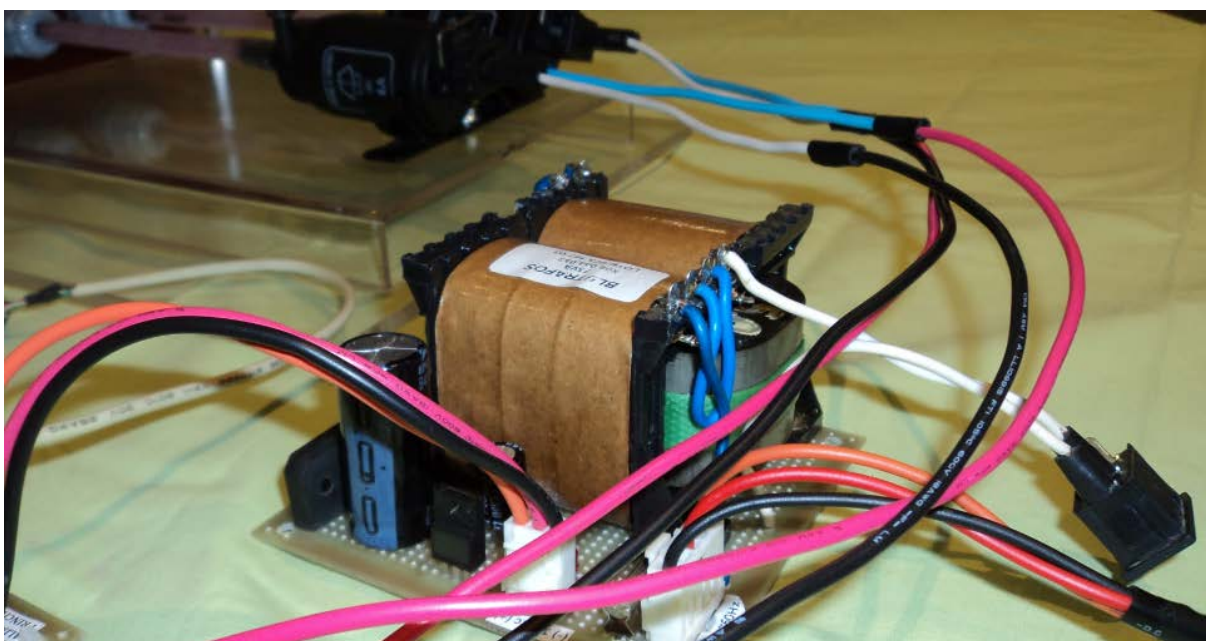


Figura 4.3.2 – Fonte de alimentação principal

(Fonte: Autor)

Tabela 4.3.1 - Componentes da fonte de alimentação. (Fonte: Autor)

Item	Descrição	Quant.	Posição no diagrama elétrico - Nº da coluna
01	Borne macho 180° tipo KRE de 2 vias 220 Vca	1	2
02	Borne macho KRE 3 vias, saída da tensão estabilizada 12 Vcc, 5 Vcc e GND	1	6
03	Chave geral – Liga/Desliga	1	3
04	Fusível 2 ampers	1	4
05	Transformador de núcleo saturado monofásico de 75VA, 60Hz, 220/12 Vca	1	3
06	Ponte retificadora de onda completa, Semikron modelo B500	1	2
07	Capacitor de 6600 μ F para “alisamento” da tensão contínua de entrada	1	2
08	Capacitores de 1000 μ F para “alisamento” da tensão contínua de entrada.	2	3
09	Capacitores de 100nF para “alisamento” da tensão contínua de saída e proteção sobretensão de retorno	2	4
10	Regulador de tensão, tipo LM7812 – V _{out} = 12 Vcc	1	3
11	Regulador de tensão, tipo LM7805 – V _{out} = 5 Vcc	1	3
12	Resistor limitador de corrente de 1 k Ω	1	4
13	LED – cor vermelha, \varnothing_{ext} =0,3 mm	1	4

SISTEMA MICROCONTROLADO PARA FUNCIONAMENTO ALTERNADO E AUTOMATICO DE MOTOBOMBAS DE RECALQUE

FONTE DE ALIMENTAÇÃO

220Vca/12Vcc-5Vc

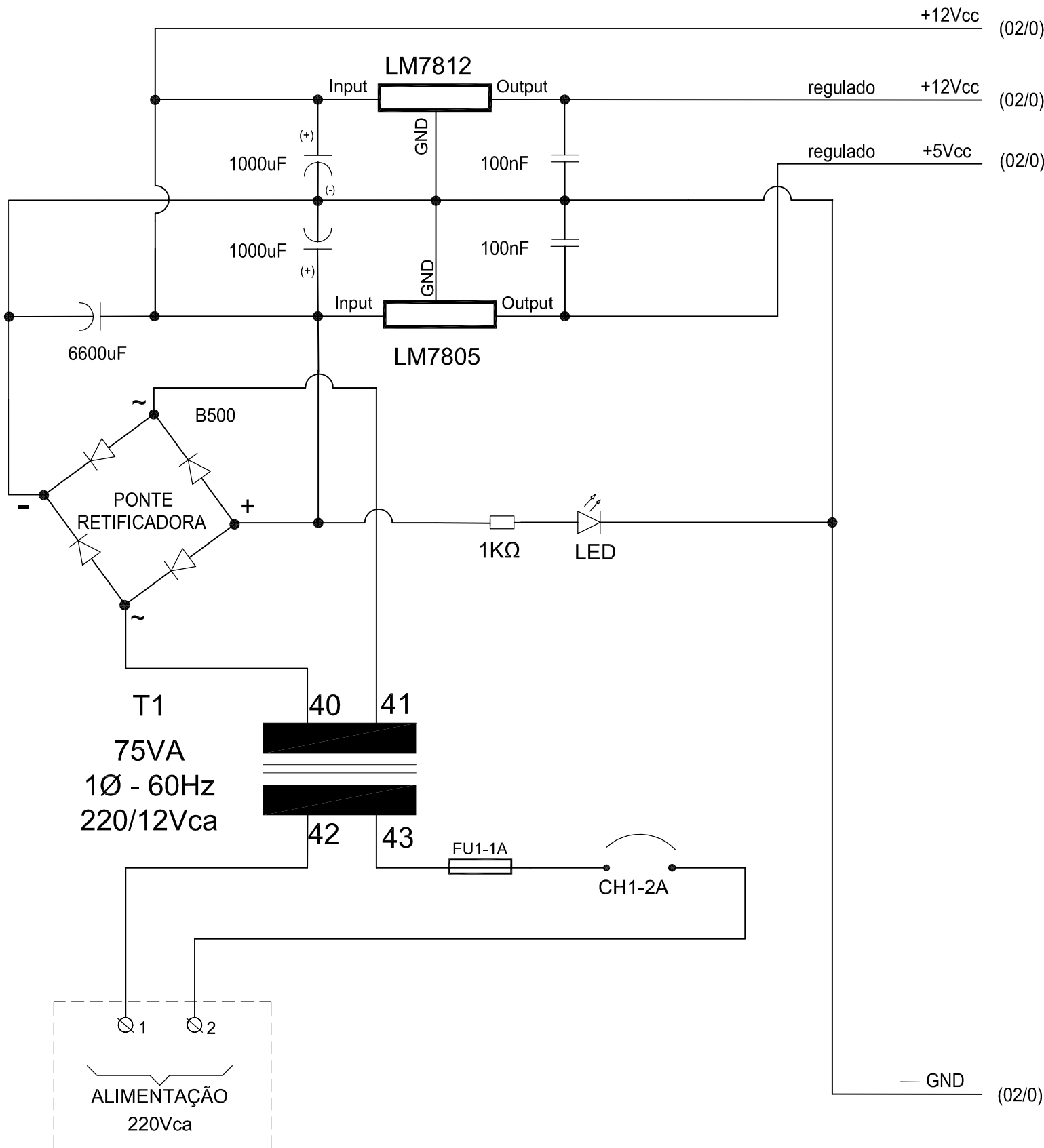


Figura 4.3.3 - Diagrama elétrico da Fonte de Alimentação
(Fonte: Autor)

4.3.2 Hardware da interface

O hardware da interface foi montado sobre uma placa de fenolite de trilha perfurada cobreada, sob a forma de uma matriz de contatos com dimensões de 10 cm de largura x 10 cm de comprimento, de fabricação pela empresa Comkitel.

Os barramentos de 12Vcc e 5Vcc alimentam os relés que enviam os sinais de condições de partida e parada das motobombas para as portas digitais 2, 3 e 8 a 13 do microcontrolador arduino, através do fechamento e abertura dos contatos, conforme diagrama das figura 4.3.4 e figura 4.3.5.

Para que ocorra a operação das motobombas MB1 e MB2, faz-se necessário que o barramento de 12Vcc esteja energizado, aguardando o fechamento dos contatos de selo nº 13 e 14, cuja os sinais são enviados pelos relés RL-04 e RL-05, respectivamente, que são energizados pelos fototransistores do fotoacoplador TLP521-4 quando excitados pelos led infravermelho, fechando desta forma o circuito que alimenta os relés RL-04 e 05, responsáveis pelas partidas e paradas da motobombas.

O funcionamento manual ou automático ocorre com a mudança de posição da chave M-A, que é um dispositivo alimentado em 12Vcc com 3 (três) posições: automático, desligado e manual. Para indicar que a chave está na posição automático foi inserido no circuito um LED na cor vermelha de $\varnothing = 5$ mm. O resistor de 330Ω em série com o respectivo LED tem a finalidade de limitar a corrente, evitando assim uma avaria em decorrência de uma sobrecorrente.

Os sensores de níveis nível baixo do reservatório inferior (NBI), nível baixo do reservatório superior (NBS) e nível máximo do reservatório superior (NMS) são alimentados com uma tensão estabilizada de 5 Vcc, vindo da fonte LM-7805. O NBI é um sensor normalmente fechado, o que significa que caso o reservatório inferior esteja vazio o mesmo irá sinalizar, através do comando relé RL-01 além de abrir o contato que está na porta Pin 10 do microcontrolador, impedindo assim a partida da bomba nestas condições. O NBS e NMS são sensores com contatos normalmente abertos, ou seja, os reles RL-02 e RL-03 que estão em série com o mesmo somente

dão condições de partida e parada, quando ocorrer a energização pelo fechamento dos contatos.

Para funcionamento no modo manual, basta modificar a chave M/A para posição M, que o contato da porta Pin 11 fecha-se, dando condição ao usuário para selecionar a bombas desejada pelo pressionamento de um dos botões push-botton denominados BA-MB1 (motobomba 1) ou BA-MB2 (motobomba 2).

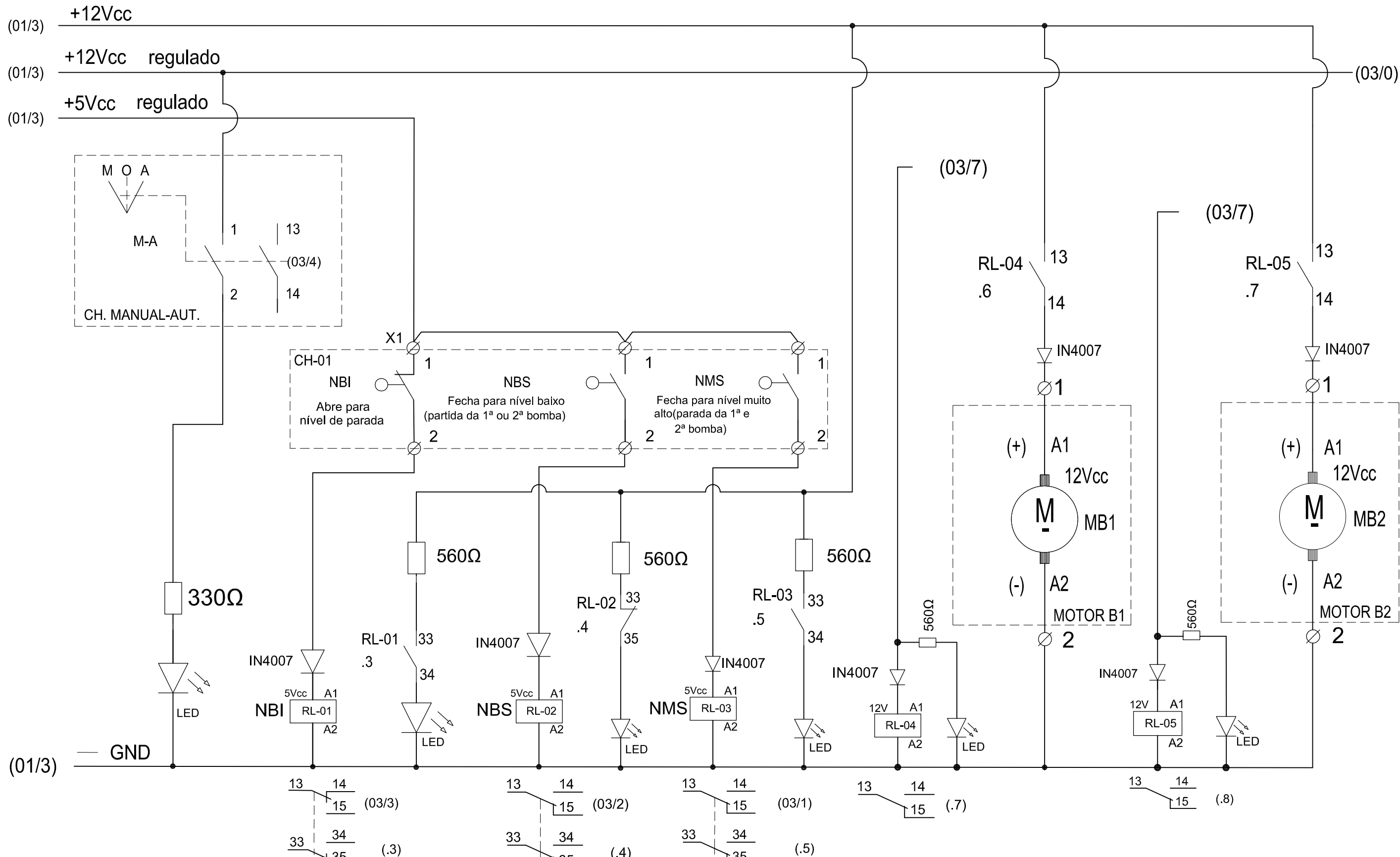
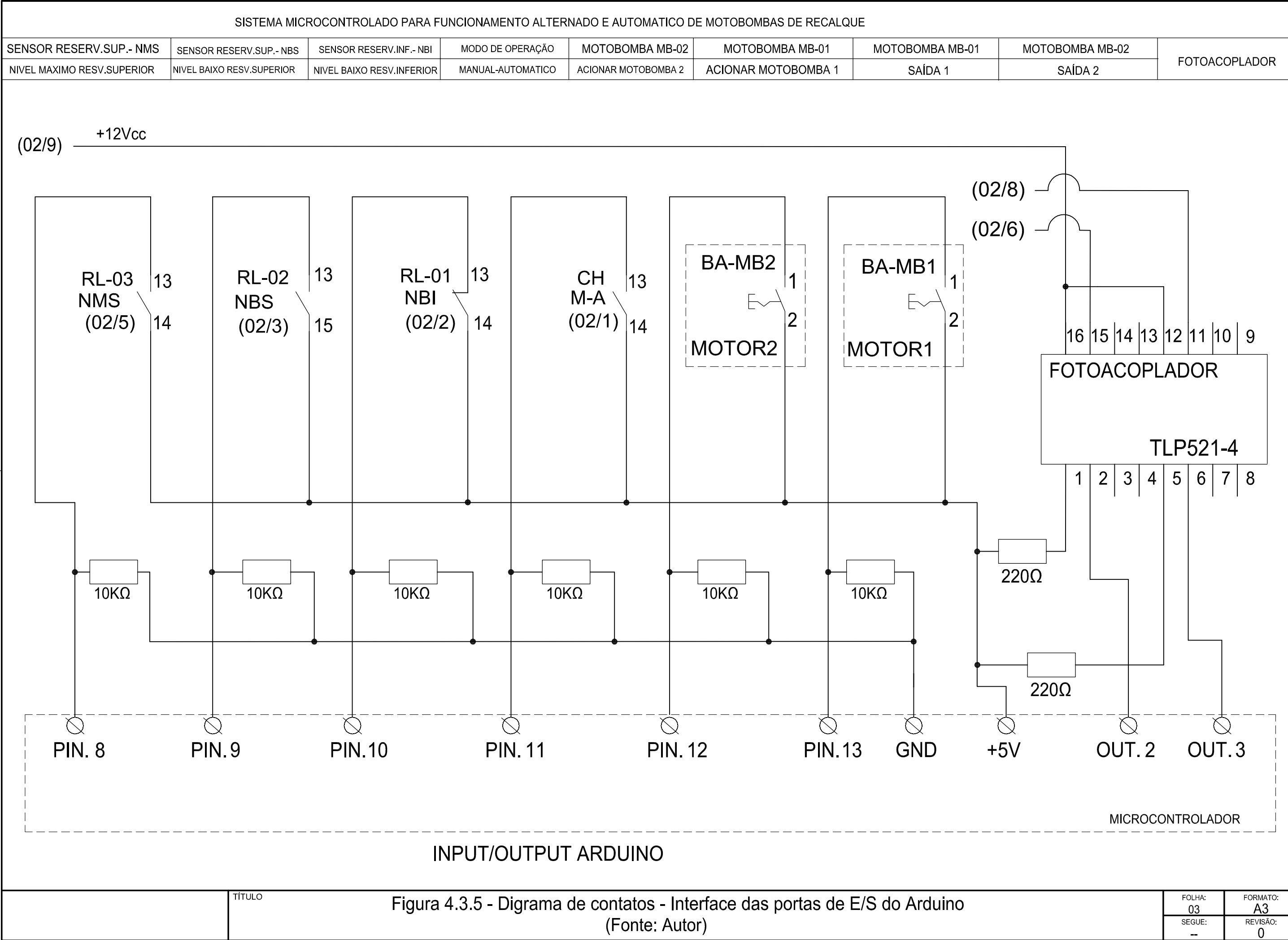


Figura 4.3.4 - Diagrama Funcional
(Fonte: Autor)



4.3.3 Hardware do microcontrolador Arduino

A verificação do estado dos dispositivos externos: sensores de níveis NBI, NBS, NMS, motobombas de recalque MB1 e MB2, relés de comutação, LED de indicação dos status dos sensores, operação das motobombas e indicação do modo de operação são realizados pelo microcontrolador, através das portas de entrada digitais Pin 8 a 13 e saídas digitais Pin 2 e 3, quando do fechamento dos contatos que estão em série com as respectivas portas.

O microcontrolador arduino, modelo Duemilanove tem cristal oscilador de 20 MHz, o que significa 20 milhões de pulsos de clock por segundos, que é igual a 5 milhões de ciclos de máquinas por segundos, ou seja, 200 ns por ciclo.

Na tabela 4.3.3 está indicado as características técnicas do microcontrolador Arduino Duemilanove, conforme datasheet do fabricante ATmega.

Tabela 4.3.2 – Características técnicas do microcontrolador Arduino. (Fonte: Atmega)

Microcontrolador Arduino Duemilanove ATMEGA 168	
Características	Unidade
Tensão de trabalho	5 Volts
Tensão de entrada (recomendada)	7 a 12 Volts
Tensão de entrada (limite)	6 a 20 Volts
Pinos E/S Digitais	14 (6 com saídas PWM)
Pinos de entradas analógicas	6
Corrente DC por pino E / S	40 mA
Corrente DC para pino de 3,3 Volts	50 mA
Memória flash	16 kB com 2 kB usado pelo bootloader
Memória SRAM	1 kB
Memória EEPROM	512 Bytes
Velocidade do clock	20 MHz

4.4 FIRMWARE DO SISTEMA

4.4.1 Linguagem utilizada

O código fonte foi elaborado em linguagem de programação C, conforme fluxogramas das funções, sendo que as principais funções do arduino são: Setup() e função loop(), que funcionam como a função main().

Foram desenvolvidas cinco (5) outras funções auxiliares que rodam durante a execução da função loop, que são: função supervisão, função automático, função sistema em falha, função manual remoto e função checa tempo operação.

A função automático tem a finalidade de executar a ação de alternância das motobombas de recalque e está programada com setup inicial de 5 segundos. Esse tempo de alternância entre as bombas pode ser configurado por meio da interface de supervisão. Os tempos de alternância podem variar de 1 a 65 segundos.

4.4.2 Servidor local – Xampp

XAMPP é um servidor independente de plataforma, software livre, que consiste principalmente na base de dados MySQL, o servidor web Apache e os interpretadores para linguagens de script: PHP e Perl. O nome provém da abreviação de **X** (para qualquer dos diferentes sistemas operativos), **A**pache, **M**ySQL, **P**HP, **P**erl. O programa está liberado sob a licença GNU e atua como um servidor web livre, fácil de usar e capaz de interpretar páginas dinâmicas. Atualmente XAMPP está disponível para Microsoft Windows, GNU/Linux, Solaris e MacOS X.

Tem como características requerer somente um arquivo zip, rar e o exe a baixar e executar, com algumas pequenas configurações específicas ao sistema em alguns de seus componentes necessários para o funcionamento do servidor web.

Neste projeto, fez-se o uso do XAMPP apenas com as funcionalidades de servidor de web (http) e interpretador de php.

A interface entre o servidor Xampp e o firmware do sistema ocorre conforme figura 4.4.1, abaixo, permitindo assim a realização da supervisão.

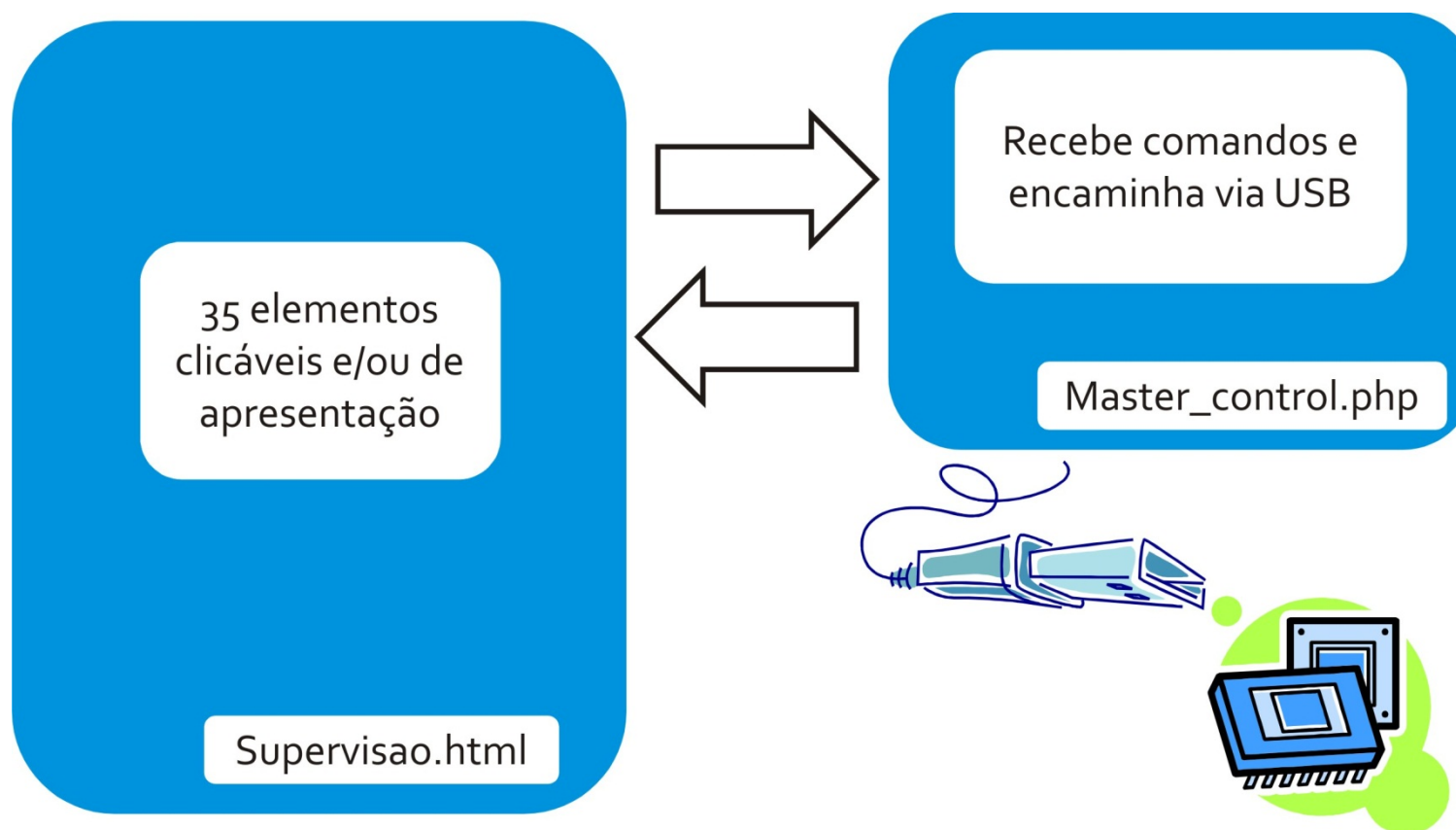


Figura 4.4.1 – Visão Geral do Sistema Supervisório

(Fonte: Autor)

O arquivo Supervisao.html basicamente apresenta a tela de interface do sistema de supervisão em um navegador de internet. Cabe também ao Supervisao.html receber os comandos do usuário pela interface gráfica e encaminhá-los ao master_control.php que, por fim, os traduzirá e encaminhará adequadamente ao microcontrolador arduino.

O arquivo php master_control.php tem como função principal realizar requisições via porta USB ao arduino e receber as respostas emitidas por aquele microcontrolador. As respostas recebidas via interface USB são processadas e encaminhadas à interface Supervisao.html o qual definirá que imagens serão apresentadas na tela do sistema de supervisão.

4.5 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE CAMPO

Foram realizadas vinte medições de vazões no modo de funcionamento automático, com as bombas realizando alternância de operação em intervalos de 5 segundos e no modo automático, quando o operador aciona o botão “push-botton” para realizar partida da motobomba de recalque desejada. Os resultados destas medições estão indicadas nas tabela 4.5.1 e tabela 4.5.2. As alterações na terceira decimal devem as fatores temperatura, corrente nominal das motobombas e entrada de ar nas tubulações de recalque.

Os valores das vazões medidas estão na média de $2,832 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ na condição de alternância em modo automático e de $2,560 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ em modo manual local.

4.5.1 Vazão no modo automático

Tabela 4.5.1 - Modo automático – medição de vazão. (Fonte: Autor)

Medições de Vazão (m ³ /s)	
Amostra	Valor medido
01	2,832 x 10 ⁻⁵
02	2,830 x 10 ⁻⁵
03	2,832 x 10 ⁻⁵
04	2,831 x 10 ⁻⁵
05	2,830 x 10 ⁻⁵
06	2,832 x 10 ⁻⁵
07	2,832 x 10 ⁻⁵
08	2,832 x 10 ⁻⁵
09	2,832 x 10 ⁻⁵
10	2,832 x 10 ⁻⁵

4.5.2 Vazão no modo manual local

Tabela 4.5.2 - Modo Manual Local – medição de vazão. (Fonte: Autor)

Medições de Vazão (m ³ /s)	
Amostra	Valor medido
01	2,560 x 10 ⁻⁵
02	2,560 x 10 ⁻⁵
03	2,559 x 10 ⁻⁵
04	2,560 x 10 ⁻⁵
05	2,560 x 10 ⁻⁵
06	2,561 x 10 ⁻⁵
07	2,560 x 10 ⁻⁵
08	2,561 x 10 ⁻⁵
09	2,560 x 10 ⁻⁵
10	2,559 x 10 ⁻⁵

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

O sistema foi projetado para permitir a realização de alternância automática de motobombas de recalque, com uso de microcontrolador, visando manter o sistema de abastecimento de água de forma ininterrupta e demonstrar que operação das motobombas de automática e alternada permite ao usuário manter o controle operacional, e dar a possibilidade de intervenção em tempo hábil, caso ocorra alguma não conformidade nas motobombas, evitando o elemento surpresa quanto a entrada em operação da bomba, uma vez que a alternância antecipa à existência de indisponibilidade das bombas de recalque na edificação.

Outrossim, convém observar que bombas e motores em condição de “stand-by” são passíveis de avaria do tipo travamento dos eixos, levando consequentemente as falhas elétricas, bem como o acúmulo de sujeira (partículas de poeira) é considerado outro elemento que pode provocar a indisponibilidade, além da possibilidade de haver presença de pequenos roedores, como baratas e ratos que destroem a isolação das máquinas, levando-as a curto-circuito em sua partida, deixando-as indisponíveis e gerando incertezas quanto à regularidade no abastecimento de água.

Finalmente, o trabalho atende a proposta inicial de realizar a alternância de forma microcontrolada e automático, com uso do microcontrolador arduino.

5.1 FUTUROS PROJETOS

- Sistema microcontrolado de alternância de motobombas de recalque com aplicação de sensor de níveis tipo capacitivos ou infravermelho;
- Monitoramento do circuito hidráulico, associado ao monitoramento de níveis com aplicação de dois sensores (tipo bóia e tipo infravermelho), visando a redundância e precisão do controle de níveis e vazão;
- Monitoramento de nível, com implementação no módulo de supervisão com indicação dos quadros estatísticos de operação das motobombas e inclusão de display de cristal liquido (LCD) no painel local.

Referências Bibliográficas

- ANDREY, J. M., Eletrônica Básica – Teoria e Prática, Editora Rideel; 1999.
- COTRIM, A., Instalações elétricas, 2ª edição Editora São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.
- DAMAS, L., Linguagem C (10ª ed.), (J.A.Araújo; O.Bernardo Filho, Trad.), Rio de Janeiro, ed. LTC; 2007.
- FITZGERALD, A. E., KINGSLEY, J.C., & UMANS, S.D., Máquinas Elétricas: Com introdução à Eletrônica de Potência (6ª ed.). (A. Laschuk, Trad.), Porto Alegre, RS, Ed. Bookman; 2008.
- FRANCISCO, A., Motores Elétricos (2ª ed.). Lisboa, Portugal: Lidel – Edições Técnicas / Etep – Edições Técnicas e Profissionais / Livrimpor – Livros Técnicos; 2009.
- GONÇALVES, B.S., Sistema Operacional para Microcontroladores. Orientador: Prof. Tony Inácio Silva. Data do artigo: 7 de maio de 2010. Disponível em Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação – DPPG, no endereço eletrônico da rede de computadores: <http://www.dppg.ifmt.edu.br>; 2010.
- HAYKIN, S., VAN VEEN, BARRY, Sinais e Sistemas (1ª ed.), (J.C.B, dos Santos, Trad.), Porto Alegre, ed. Bookman; 2001.
- JOSE, A. Microcontroladores. Data do documento: 19 de julho de 2009. Serpa, Portugal. Acesso em 26 de outubro de 2010, disponível no Fórum Luso Robótica – Comunidade Portuguesa de Robótica: <http://lusorobótica.com>; 2009.
- KATSUHIKO, O., Engenharia de Controle Moderno (4ª ed.), São Paulo, SP, ed. Pearson / Prentice Hall; 2009.
- KOSOW, I. L. Máquinas Elétricas e Transformadores. (9ª ed.). (L.F.R.Daiello & P.A.P. Soares, Trad.), São Paulo, SP, Brasil: Ed. Globo; 1993.
- MAGALDI, M. Noções de Eletrotécnica (3ª ed.). Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Ed. Reper; 1969.

- MALVINO, A. P., Eletrônica (4ª ed. Vol. 1), (R. Abdo, A. Pertence Jr, J.L. Nascimento, Trad.), São Paulo, SP, ed. Pearson Education do Brasil; 1995.
- MAMEDE, J., Instalações elétricas Industriais, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A; 1986.
- MARTIGNONI, A., Máquinas Elétricas de Corrente Contínua (5ª ed.). Rio de Janeiro, RJ, Ed. Globo; 1987.
- McROBERTS, M., Arduino Básico, 1ª edição. (Zanolli, R, Trad.), Editora Novatec; 2012.
- MONTICELLI, A., GARCIA, A., Introdução a Sistemas de Energia Elétrica, Campinas, São Paulo, ed. Unicamp; 1999.
- NATALE, F., Automação Industrial. SériemBrasileira de Tecnologia (5ªed.). São Paulo, SP, Brasil: Ed. Érica; 2003.
- NUNES, R.J.C., Introdução aos edifícios inteligentes e à domótica. Pesquisa para aula prática do Instituto Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. Aula ministrada em 11 de setembro de 2006, Lisboa, Portugal; 2006.
- PAZOS, F., Automação de Sistemas e Robótica (1ª ed.). Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Axcel Books do Brasil; 2002.
- RIBEIRO, M.A., Automação industrial (4ª ed.). Salvador, BA, Brasil: Ed. Tek Treinamento & Consultoria; 2001.
- ROSÁRIO, J.M., Princípios de Mecatrônica (1ª ed.). São Paulo, S, Brasil: Ed. Pearson; 2005.
- SOUZA, Z., BORTONI, E. C., Instrumentação para Sistemas Energéticos e Industriais (1ª ed.), Itajubá, ed. Do Autor; 2006.
- TORO, V. D., Fundamentos de Máquinas Elétricas (1ª ed.), (O.A. Martins, Trad.), Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Ed. LTC; 1994.
- TRIPLER, P.A., Física para Cientistas e engenheiros – Eletricidade e Magnetismo, Ótica. (4ª ed.). Volume 2. (H. Macedo & R. Biasi, Trad.), Rio de Janeiro, Brasil: Ed. LTC; 2000.

- U.S. NAVY, BUREAU OF NAVAL PERSONNEL, TRAINING PUBLICATIONS DIVISION, WASHINGTON D.C., Curso Completo de electronica, (M.Pugliesi, N.P. Lima, Trad.), Ed. Hemus editor limitada;
- YOUNG, H.D., & FREEDMAN, R.A., Física III: Eletromagnetismo. (10ª ed.). (A.M. Luiz, Trad.), São Paulo, SP, Brasil: Ed. Pearson Education / Addison Wesley; 2004.
- Clube do Hardware, 2012. Disponível em <http://www.clubedohardware.com.br/> Acesso em 16 mar. 2012.
- Creative Commons, 2012. Disponível em <http://www.creativecommons.org.br/> Acesso em 20 mar. 2012
- Eletrônica Básica, 2012. Disponível em <http://www.eletronica24h.com.br/> Acesso em 20 mar. 2012.
- Eletrônica Industrial, 2012. Disponível em <http://www2.uol.com.br/> Acesso em 20 mar. 2012.
- Eletrônica Unicrom, 2012. Disponível em <http://www.unicrom.com/> Acesso em 20 mar. 2012.
- Eletrônica, 2012. Disponível em <http://www3.eletronica.org/> Acesso em 20 mar. 2012.
- HowStuffWorks, 2012. Disponível em <http://www.hsw.uol.com.br/> Acesso em 22 mar. 2012
- Mecatrônica, 2012. Disponível em <http://www.mecatronica.org.br/> Acesso em 22 mar. 2012.
- Microchip Technology Inc., 2012. Disponível em <http://www.microchip.com/> Acesso em 22 mar. 2012.
- Robótica Simples, 2012. Disponível em <http://www.roboticasimples.com/> Acesso em 22 mar. 2012.
- Wikipédia, 2012. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/> Acesso em 27 mar. 2012.

APÊNDICE I

//Alternância automática de motobomba de recalque
 //Nome do arquivo: Alterna_MBR
 //Autor: José **Aliézio** Amaro Severo
 //Versão: 1.0 – 30/06/2012
 //Descrição: Firmware do sistema de alternância automática de motobombas de recalque
 //Linguagem de programação: C – Dennis Ritchie AT&T Bell Labs
 //Compilador: IDE do Arduino Duemilanove
 //Microcontrolador utilizado: ATmega168 no hardware do Arduino Duemilanove

const int MA = **11**; // Manual Automático

const int NBI = **10**; // Nível Baixo Reservatório Inferior

const int NBS = **9**; // Nível Baixo Reservatório Superior

const int NMS = **8**; // Nível Máximo Reservatório Superior

const int BOT_MB1 = **12**; // Botoeira de Acionamento MB1

const int BOT_MB2 = **13**; // Botoeira de Acionamento MB2

const int MB1 = **2**; // Pino de Alimentação MB1

const int MB2 = **3**; // Pino de Alimentação MB2

const int ON = LOW; // Indicação de Nível Baixo

const int OFF = HIGH; // Indicação de Nível Alto

int ESTADO_MB1 = **0**; // Verifica se MB1 está desligado

int ESTADO_MB2 = **0**; // Verifica se MB2 está desligado

unsigned long TEMPO_FALHA = 98000; // 98s

int FALHA = 0; //flag que sinaliza a existencia de falha no sistema de bombeamento 0 = sem //falhas,
1 = houve falha.

unsigned int TEMPO_ALTERNANCIA = 5 * 1000; // 5s

int BOMBA_SELECIONADA = MB1; // Indica a motobomba selecionada

int ENCHIMENTO = 0; // Indica condição de enchimento do reservatório

unsigned long t_inicial = 0; // contagem do tempo inicial

int MODO_MANUAL_REMOTO = 0; // flag que identifica modo manual_remoto 0 = nao esta neste
//modo; 1 = esta no modo manual remoto

char COMANDO_MANUAL_REMOTO = 9; // Indica a condição da supervisão

unsigned long H_PARTIDA = 0; // Verifica a contagem da hora de partida

unsigned long H_ATUAL = 0; // Verifica a hora atual

unsigned long T_OPERACAO = 0; // Verifica o tempo de operação

```
void setup() {  
  
    pinMode(NBI, INPUT); //10, função utilizada p/ configurar pino digital como entrada  
  
    pinMode(NBS, INPUT); // pino 9  
  
    pinMode(NMS, INPUT); // pino 8  
  
    pinMode(MA, INPUT); // pino 11  
  
    pinMode(BOT_MB1, INPUT); // pino 12  
  
    pinMode(BOT_MB2, INPUT); // pino 12  
  
    pinMode(MB1, OUTPUT); // pino 2, pino digital 2 como saída  
  
    pinMode(MB2, OUTPUT); // pino 3  
  
    Serial.begin(9600); // taxa de transmissão igual a 9600 bps  
  
    // INICIALIZACAO  
  
    digitalWrite(MB1, OFF);  
  
    digitalWrite(MB2, OFF);  
  
    //digitalWrite(13, HIGH)  
  
}
```

```

void loop() {
    SUPERVISAO();

    if (digitalRead(MA) == LOW) {
        MANUAL();
        FALHA = 0; //DESTRAVA O SISTEMA EM CASO DE FALHA
        H_PARTIDA = 0; //reinicializa a contagem do tempo de enchimento.
    }

    else {
        if (FALHA == 0) {
            if (MODO_MANUAL_REMOTO == 0)
                AUTO();
            else
                MANUAL_REMOTO();
        }
        else {
            digitalWrite(BOMBA_SELECIONADA,OFF);
            ESTADO_MB1 = 0;
            ESTADO_MB2 = 0;
        }
    }
}

```

```

void AUTO() {

    delay (100);

    // MODO AUTOMATICO
    if (digitalRead(NBI) == LOW) { //verifica se tem agua no reservatorio inferior
        if (digitalRead(NBS) == HIGH) { // verifica se o reservatorio superior esta
            //vazio
            //PARTE A BOMBA SELECIONADA!!

            if (H_PARTIDA == 0) {

                H_PARTIDA = (unsigned long) millis(); // calculos para logica de falha

            }

            checa_tempo_operacao(); // verifica o tempo de operacao da bomba
            //selecionada

            H_ATUAL = (unsigned long) millis();
            T_OPERACAO = H_ATUAL - H_PARTIDA;

            if (T_OPERACAO > TEMPO_FALHA) { // calculos para logica de falha
                FALHA = 1;
            }
            digitalWrite(BOMBA_SELECIONADA,ON);

            switch (BOMBA_SELECIONADA) { //atualiza variaveis de estado que sao lidas
                // pelo sistema de supervisao

                case MB1: ESTADO_MB1 = 1; // pino 2
                    ESTADO_MB2 = 0;
                    break;
                case MB2: ESTADO_MB2 = 1; // pino 3
                    ESTADO_MB1 = 0;
                    break;
            }

            ENCHIMENTO = 1; // informa que o sistema esta em processo de
                //Enchimento

        } else if ( (digitalRead(NBS) == LOW) && (digitalRead(NMS) == LOW) &&
            (ENCHIMENTO == 1) ) {

            if (H_PARTIDA == 0) {
                H_PARTIDA = (unsigned long) millis(); // calculos para
                    //logica de falha

            }

            H_ATUAL = (unsigned long) millis(); // calculos para logica de
                //falha

```

```

T_OPERACAO = H_ATUAL - H_PARTIDA; // calculos para logica
                                   //de falha
checa_tempo_operacao(); // verifica o tempo de operacao da
                           //bomba selecionada

if (T_OPERACAO > TEMPO_FALHA) { // calculos para logica de
                                //falha
    FALHA = 1;
}

digitalWrite(BOMBA_SELECIONADA,ON);
switch (BOMBA_SELECIONADA) { //atualiza variaveis de
    //estado que sao lidas pelo sistema de supervisao

    case MB1: ESTADO_MB1 = 1;
               ESTADO_MB2 = 0;
               break;
    case MB2: ESTADO_MB2 = 1;
               ESTADO_MB1 = 0;
               break;
    }
} else { //desliga bombas
    digitalWrite(BOMBA_SELECIONADA,OFF);
    switch (BOMBA_SELECIONADA) { //atualiza
        //variaveis de estado que sao
        //lidas pelo sistema de //supervisao

        case MB1: ESTADO_MB1 = 0;
                   ESTADO_MB2 = 0;
                   break;
        case MB2: ESTADO_MB2 = 0;
                   ESTADO_MB1 = 0;
                   break;
        }

    ENCHIMENTO = 0;
    H_PARTIDA = 0;
}

}

else { //sem agua no reservatorio inferior
    digitalWrite(MB1,OFF); //desliga bombas
    digitalWrite(MB2,OFF);
    ESTADO_MB1 = 0;
    ESTADO_MB2 = 0;
    H_PARTIDA = 0;
}

}

```

```

void MANUAL_REMOTO() {
    delay(100);
    if (digitalRead(NB1) == LOW && digitalRead(NMS) == LOW) {
        if (COMANDO_MANUAL_REMOTO == '1') { //LIGA MB1
            digitalWrite(MB1,ON);
            ESTADO_MB1 = 1;
        }
        else if (COMANDO_MANUAL_REMOTO == '2') { //LIGA MB2
            digitalWrite(MB2,ON);
            ESTADO_MB2 = 1;
        }
        else if (COMANDO_MANUAL_REMOTO == '3') { //DESLIGA MB1
            digitalWrite(MB1,OFF);
            ESTADO_MB1 = 0;
        }
        else if (COMANDO_MANUAL_REMOTO == '4') { //DESLIGA MB2
            digitalWrite(MB2,OFF);
            ESTADO_MB2 = 0;
        }
        else if (COMANDO_MANUAL_REMOTO == '0') { //SAI DO MODO
            //MANUAL_REMOTO
            MODO_MANUAL_REMOTO = 0;
        }
    }

    else {

        if (ESTADO_MB1 == 1) {

            digitalWrite(MB1,OFF);
            COMANDO_MANUAL_REMOTO = 3;
            ESTADO_MB1 = 0;
        }
        if (ESTADO_MB2 == 1) {
            digitalWrite(MB2,OFF); //escreva o valor no pino digital que foi definido saida
            COMANDO_MANUAL_REMOTO = 4;
            ESTADO_MB2 = 0;
        }
    }
}

```



```

void MANUAL() {

    // MODO MANUAL

    if (digitalRead(NBI) == LOW && digitalRead(NMS) == LOW) { //impede acionamento
        //das bombas se nao houver agua no reservatorio inferior

        if (digitalRead(BOT_MB1) == HIGH) {
            delay(500);
            if (ESTADO_MB1 == 0) {
                digitalWrite(MB1,ON);
                ESTADO_MB1 = 1;
            }
            else {
                digitalWrite(MB1,OFF);
                ESTADO_MB1 = 0;
            }
        }
        else {
            if (digitalRead(BOT_MB2) == HIGH) {
                delay(500);
                if (ESTADO_MB2 == 0) {
                    digitalWrite(MB2,ON);
                    ESTADO_MB2 = 1;
                }

                else {
                    digitalWrite(MB2,OFF);
                    ESTADO_MB2 = 0;
                }
            }
        }
    }

    else { //sem agua no reservatorio inferior
        digitalWrite(MB1,OFF); //desliga bombas
        digitalWrite(MB2,OFF);
        ESTADO_MB1 = 0;
        ESTADO_MB2 = 0;
    }
}

```

```

void SUPERVISAO() {

    // teste das portas de entrada

    if (Serial.available() > 0) {

        char opcao = Serial.read();

        if (opcao == '1') { //LEITURAS DOS VALORES

            int ESTADO_NMS, ESTADO_NBS, ESTADO_NBI, ESTADO_MA,

            ESTADO_BOT_MB1, ESTADO_BOT_MB2;

            char codigo_saida[11];

            if (digitalRead(NMS) == HIGH) ESTADO_NMS = 1; else ESTADO_NMS = 0;

            if (digitalRead(NBS) == HIGH) ESTADO_NBS = 1; else ESTADO_NBS = 0;

            if (digitalRead(NBI) == LOW) ESTADO_NBI = 1; else ESTADO_NBI = 0;

            if (digitalRead(MA) == HIGH) ESTADO_MA = 1; else ESTADO_MA = 0;

            if (digitalRead(ESTADO_BOT_MB1) == HIGH) ESTADO_BOT_MB1 = 1; else

            ESTADO_BOT_MB1 = 0;

            if (digitalRead(ESTADO_BOT_MB2) == HIGH) ESTADO_BOT_MB2 = 1; else ESTADO_BOT_MB2 = 0;

            codigo_saida[0] = ESTADO_MB1 + '0'; // soma com 49 que eh o codigo ascii do

            //alfanumerico 0

            codigo_saida[1] = ESTADO_MB2 + '0';

            codigo_saida[2] = ESTADO_NMS + '0';

            codigo_saida[3] = ESTADO_NBS + '0';

            codigo_saida[4] = ESTADO_NBI + '0';

            codigo_saida[5] = ESTADO_MA + '0';

            codigo_saida[6] = MODO_MANUAL_REMOTO + '0';

            codigo_saida[7] = FALHA + '0';

            unsigned int tempo_decorrido = millis() - t_inicial;

```

```

    codigo_saida[8] = char( (tempo_decorrido)/10000 ) + '0';

    codigo_saida[9] = char( (tempo_decorrido)/1000 ) - ( (codigo_saida[8] - '0') * 10 ) + '0';

    codigo_saida[10] = '\0'; //FIM DA STRING (PALAVRA)

    Serial.println(codigo_saida);

}

else if (opcao == '2') { //configuracao do tempo padrao de alternancia das bombas

    TEMPO_ALTERNANCIA = ((Serial.read() - '0') * 10000) + ((Serial.read() - '0') * 1000);

    if (TEMPO_ALTERNANCIA == 0) TEMPO_ALTERNANCIA = 1000;

        Serial.print("tempo de alter = ");

        Serial.println(TEMPO_ALTERNANCIA);

    }

else if (opcao == '3') { //entra no modo MANUAL_REMOTO

    COMANDO_MANUAL_REMOTO = Serial.read();

    Serial.print("MODO MANUAL REMOTO: COMANDO = ");

    Serial.println(COMANDO_MANUAL_REMOTO);

    MODO_MANUAL_REMOTO = 1;

    }

}

}

```

```
void checa_tempo_operacao() {  
  
    unsigned long tempo_total_de_uso;  
  
    if (t_inicial == 0)  
        t_inicial = millis();  
  
    else {  
  
        tempo_total_de_uso = millis() - t_inicial;  
  
        if (tempo_total_de_uso >= TEMPO_ALTERNANCIA) {  
  
            switch (BOMBA_SELECIONADA) {  
  
                case MB1: BOMBA_SELECIONADA = MB2;  
  
                    digitalWrite(MB1,OFF);  
  
                    break;  
  
                case MB2: BOMBA_SELECIONADA = MB1;  
  
                    digitalWrite(MB2,OFF);  
  
                    break;  
  
            }  
  
            t_inicial = millis();  
  
        }  
  
    }  
  
}
```